



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN

ELABORACIÓN DE UN BAGEL A BASE DE TRIGO Y
AMARANTO (*Amaranthus hypochondriacus L.*) CON ALTA
CALIDAD NUTRIMENTAL.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

HÉCTOR CRUZ BÁRCENAS

ASESOR: Dr. ENRIQUE MARTÍNEZ MANRIQUE
COASESORA: I.A. VERÓNICA JIMÉNEZ VERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO



M. EN C. JORGE ALFREDO CUELLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: M. EN A. ISMAEL HERNÁNDEZ MAURICIO
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos el: Trabajo de Tesis

Elaboración de un Bagel a base de trigo y amaranto (*Amaranthus hypochondriacus* L.) con alta calidad nutrimental

Que presenta el pasante: Héctor Cruz Bárcenas
Con número de cuenta: 406050672 para obtener el Título de: Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 28 de febrero de 2014.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	IBQ. Saturnino Maya Ramírez	
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
SECRETARIO	Dr. Enrique Martínez Manrique	
1er. SUPLENTE	IQ. Daniel Mauricio Vicuña Gómez	
2do. SUPLENTE	IA. Eva Teresa González Barragán	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Agradecimientos y dedicaciones

A DIOS, al Señor Santiago y a la Virgen de Guadalupe por haberme acompañado durante todo este tiempo y por darme la fuerza para concluir este proyecto además de brindarme la alegría de vivir este momento tan maravilloso de terminar este objetivo en mi vida, muchas gracias.

Y con mucho cariño a mis PADRES (Gloria Bárcenas† y Melchor Cruz), Gracias padre por haberme guiado por el camino correcto y haber aplicado mano dura cuando fue necesario te lo agradezco de todo corazón te amo. Gracias a ti mami donde quiera que estés, este logro es tuyo te lo prometí y espero que me guíes en la siguiente etapa de mi vida te amo madre y que dios te cuide mucho.

A mis hermanos (Eliza, Rocío y Enrique).

Gracias mi bonita (Marisol) por haber estado siempre pendiente y preocuparte, eres una persona muy linda y especial en mi vida, que dios te llene de bendiciones. Te quiero mucho!!!!!!

*A todos mis profesores desde que empecé este sueño pero en especial a la profesora **Concepción** que me guio hacia el área de las ciencias biológicas y químicas, también a todos mis profesores del "COLEGIO DE BACHILLERES N°6" en especial, a las profesoras **Pilar, Leticia y Bonnete**. Y muchas gracias a mis profesores de la universidad en especial a :**Freyre Malacara, Yolanda López, Natividad Venegas, Antonio Trejo, José frías, Isaac, Hulme, Margarita Ordoñez, Fernando Flores, Guadalupe Franco, Gloria Cruz, Sandra Rueda, Leticia Figueroa, Elena Pahlua, María Eugenia, Zaira Guadarrama, Patricia Muños, Laura Cortázar, Tais Nopal, Rosalba, Carolina Moreno, Guadalupe Cabral, Ada Mesa, Edgar Arechavaleta, Guadalupe Amaya, Fernando Maya, Alberto Solís, Ana Soto, Javier Cruz, Pablo Navarro, María Guadalupe, Oscar Ibarra, Víctor Hugo Blancas y Sandro flores**. Ustedes fueron mis mejores profesores sin temor a equivocarme muchas gracias.*

*A mis profesoras del S.S., **I.A. Alicia Pérez** y **M.V.Z Maribel Domínguez**, muchas gracias por su apoyo y orientación.*

*Agradezco a mis asesores de tesis al **Dr. Enrique Martínez** que siempre estuvo al pendiente de terminarla y le agradezco la orientación y dedicación en mi trabajo. También gracias a la profesora **Verónica Jiménez** por su apoyo.*

*A mis sinodales por el tiempo dedicado (**I.B.Q. Saturnino Maya, Dra. María Eugenia Ramírez, I.Q. Mauricio Vicuña** y **I.A. Eva Teresa Gonzáles**).*

Y un especial afecto y dedicación a mis hermanos del bacho, esto es en su honor amigos los quiero mucho (Verónica, Nenetxi, Marlene, Julián, Abraham, Toño, Carla, Dulce, Fidel†, Luz, Alicia, Rosario, Vivaldo, Daniel, Jesica, Víctor, Norma, Julio P, Marcos, Andrea, Gabriela y Carolina).

A todos mis amigos de la universidad (Ángeles, Laura, David, Said, Ulises, Juan, Máximo, Maricruz, Luis, Erika, Jorge, Pepe, Oscar C, Gabriel, Marcos, Heriberto, Jerry, Churu, Marck, Sarita, Sandy, Ninel, Ilsa, Rosita, Noemí, Maye, Nancy, Ana, Tete, Itzel, Jazz, Karen T, Lupis, Montse, Osiris, Laurita, Vane, Aidee, Gabby, Alma, Mega, Paola, Sandra, Brenda, Adi, Astro, Sarait, Nivia, Ari, Jácome, Alan), que me permitieron compartir tantos momentos tan agradables y que me apoyaron en los momentos de decadencia a lo largo de la carrera mil gracias.

Y claro a mis a mis amigos del Laboratorio de bioquímica y fisiología de granos y semillas de la FES-C (Elba, Julia, Toño, Karen, Karina, Roy, Aleida K) que logramos hacer una excelente amistad a todos ustedes los quiero amigos y una mansión especial a Julia gracias por tu apoyo y les deseó mucho éxito a todos y Don't Stop The Party !!!!

*Agradecimientos al proyecto PAPIIME-UNAM No.
PE200113, por el apoyo otorgado para la realización de este
trabajo.*

*Y sí te sientes perdido con tus ojos nos has de ver, hazlo con los de tu alma y
encontrarás la calma.....Txus Di Fellatio.*

*Y por que soy libre de decir lo que pienso, Dios nos izo seres libres desde un
comienzo.....Quique Neira.*

*Nadie esta a salvo de las derrotas. Pero es mejor perder algunos combates en la
lucha por nuestros sueños, que ser derrotado sin saber siquiera por qué se esta
luchando.....Paulo Coelho.*

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS	X
RESUMEN.....	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. EL TRIGO	1
1.1.1. <i>Origen</i>	1
1.1.2. <i>Producción</i>	1
1.1.3. <i>Clasificación botánica</i>	2
1.1.4. <i>Características del trigo</i>	3
1.1.5. <i>Clasificación en base a la NMX-036-1996</i>	5
1.1.6. <i>Composición química y valor nutritivo</i>	5
1.2. GLUTEN	8
1.3. AMARANTO	10
1.3.1. <i>Origen</i>	10
1.3.2. <i>Producción</i>	11
1.3.3. <i>Clasificación botánica</i>	12
1.3.4. <i>Descripción de la planta de amaranto</i>	13
1.3.5. <i>Valor Nutritivo y composición química</i>	15
1.3.5.1 <i>Proteínas</i>	16
1.3.5.2 <i>Lípidos</i>	18
1.3.5.3 <i>Carbohidratos</i>	20
1.3.5.4 <i>Vitaminas y minerales</i>	21
1.4. PANIFICACIÓN	22
1.4.1. <i>Origen</i>	22
1.4.2. <i>Definición</i>	23
1.4.3. <i>Clasificación</i>	23
1.4.4. <i>Bagel</i>	24
1.4.4.1 <i>Origen</i>	24
1.4.4.2 <i>Proceso de panificación</i>	25
1.4.4.3 <i>Ingredientes principales para la elaboración del bagel</i>	26
1.4.4.4 <i>Etapas fundamentales para la elaboración del bagel</i>	28
1.4.4.5 <i>Composición química y valor nutritivo</i>	30
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	33
2.1 OBJETIVOS.....	33
2.2 METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.....	34
2.2.1 <i>Cuadro metodológico</i>	34
2.2.2. <i>Preparación de la harina integral de amaranto</i>	35
2.2.2.1 <i>Material biológico</i>	35
2.2.3 <i>Análisis químico proximal de la materia prima</i>	35
2.2.3.1 <i>Determinación de Humedad</i>	36
2.2.3.2 <i>Determinación de Extracto etéreo</i>	36

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

2.2.3.3 Determinación de proteína	36
2.2.3.4 Determinación de cenizas	37
2.2.3.5 Determinación de fibra cruda	38
2.2.3.6 Determinación de carbohidratos.....	38
2.2.4 Elaboración del Bagel	39
2.2.5 Parámetros de calidad física del bagel.....	41
2.2.5.1 Peso del Bagel	41
2.2.5.2 Volumen	41
2.2.6 Evaluación sensorial (prueba de preferencia)	42
2.2.7 Análisis químico proximal del producto	42
2.2.8 Evaluación de la calidad nutrimental del bagel seleccionado.....	42
2.2.8.1 Digestibilidad in vitro	42
2.2.8.2 Cuantificación de triptófano	42
2.2.8.3 Perfil de aminoácidos	43
2.2.9 Evaluación sensorial (nivel de agrado).....	43
2.2.10 Método estadístico.....	43
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	44
3.1 EVALUACIÓN DE DIFERENTES HARINAS COMERCIALES	44
3.2 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MATERIA PRIMA	46
3.3 ELABORACIÓN DEL BAGEL	47
3.3.1 Pruebas de calidad física	47
3.4 EVALUACIÓN SENSORIAL (PRUEBA DE PREFERENCIA)	51
3.5 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PRODUCTO	53
3.6 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRIMENTAL DEL BAGEL SELECCIONADO	54
3.6.1 Digestibilidad in vitro.....	54
3.6.2 Cuantificación de triptófano	55
3.6.3 Perfil de aminoácidos	55
3.7 EVALUACIÓN SENSORIAL (NIVEL DE AGRADO).....	58
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción anual de trigo en México	2
Figura 2. Plantas de trigo	3
Figura 3. Diagrama esquemático del grano de trigo.....	3
Figura 4. Clasificación de las proteínas del trigo según su funcionalidad.....	7
Figura 5. Hombre prehispánico con amaranto.....	10
Figura 6. Producción anual de amaranto en México	12
Figura 7. Planta de amaranto.....	12
Figura 8. Cultivo del amaranto en tulyehualco distrito federal	13
Figura 9. Pixidio unilocular de amaranto	14
Figura 10. Diagrama de la semilla de amaranto	14
Figura 11. Imagen de algunas variedades de pan.....	23
Figura 12. Bagels tradicionales	24
Figura 13. Preparación de la harina integral de amaranto	35
Figura 14. Diagrama de proceso de elaboración del Bagel a base de trigo y amaranto.	40
Figura 15. Equipo para medir el volumen del Bagel (Medidor de pan).....	41
Figura 16. Bagels elaborados con las diferentes harinas comerciales de trigo	45
Figura 17. Bagels elaborados con 100% de harina de trigo y 100% de harina de amaranto.....	48
Figura 18. Bagels elaborados con 90 y 80 % de harina de amaranto	49
Figura 19. Bagels elaborados con cuatro diferentes formulaciones.....	50
Figura 20. Bagels en trozos de las cuatro formulaciones propuestas	51
Figura 21. Descriptores indicados por lo jueces de la formulación seleccionada	52
Figura 22. Prueba de nivel de agrado aplicada a jueces no entrenados	58
Figura 23. Descriptores indicados por los jueces no entrenados	59

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Composición química promedio del grano de trigo	6
Tabla 2. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo	6
Tabla 3. Composición de aminoácidos del gluten, gliadinas y gluteninas.	9
Tabla 4. Tabla comparativa de la composición química del grano de amaranto y otros cereales de uso común.	15
Tabla 5. Aminoácidos esenciales y no esenciales	16
Tabla 6. Contenido de aminoácidos esenciales (mg/ g N) en grano de amaranto y comparado con el patrón establecido por FAO y OMS.....	17
Tabla 7. Composición del aceite de la semilla del amaranto	19
Tabla 8. Composición química de la harina de trigo.	26
Tabla 9. Composición química del bagel 120 g de base seca.....	31
Tabla 10. Composición química de diferentes tipos de bagels de 100 g de base seca	31
Tabla 11. Formulaciones propuestas de mezclas de harina de trigo y amaranto.	39
Tabla 12. Características físicas de Bagels elaborados con diferentes harinas comerciales.	44
Tabla 13. Análisis químico proximal de las harina de trigo y de la harina integral de amaranto usadas como materia prima	46
Tabla 14. Formulaciones evaluadas para la elaboración de los bagels	47
Tabla 15. Características físicas de los bagels elaborados con 100% de harina de trigo y 100% de harina de amaranto	48
Tabla 16. Características físicas de los bagels elaborados con cuatro porciones diferentes de harinas de amaranto	51
Tabla 17. Resultados de la prueba sensorial de preferencia aplicada a los bagels elaborados con las diferentes formulaciones.....	52
Tabla 18. Análisis químico proximal de los bagels comercial, control y el elaborado con 70 H.A-20 H.T-10 G	53
Tabla 19. Digestibilidad <i>in vitro</i> de harina de amaranto, bagel control y la formulación seleccionada.....	54
Tabla 20. Contenido de triptófano del bagel control y el seleccionado	55
Tabla 21. Composición de aminoácidos del bagel control y de amaranto	56
Tabla 22. Aminoácidos esenciales del bagel elaborado con la mejor formulación, comparándolo con requerimientos diarios recomendados por la FAO	57

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Tabla 23. Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado aplicado al bagel elaborado con 70 H.A-20 H.T-10 G.....	58
---	----

RESUMEN

El amaranto es un alimento con alto valor nutritivo, debido en parte a su alto contenido proteico ya que presenta un balance adecuado de aminoácidos esenciales principalmente lisina, metionina y triptófano; aminoácidos que son deficientes en los cereales. Por eso, el consumo de amaranto puede ayudar a combatir los problemas de mala nutrición de los mexicanos. Además, el desarrollo de productos a base de amaranto se presenta como una alternativa tecnológica importante para diversificar su uso y contribuir a ampliar su mercado. Por otra parte, existe una gran diversidad de productos elaborados con trigo, los cuales en general tienen una baja calidad nutrimental. Entre toda esa gama de productos de panificación está el bagel el cual es un producto novedoso y versátil que proporciona un aporte energético importante, pero su calidad nutrimental es baja. Es por eso que, en el presente trabajo se planteó como objetivo general desarrollar una formulación a base de trigo y amaranto para la elaboración de un bagel con mejor calidad nutrimental que uno comercial sin alterar sus características sensoriales. Para lograrlo se usó amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) variedad Tulyehualco y harina de trigo (Tres Estrellas®). Se prepararon bagels con diferentes formulaciones complementados con harina de amaranto: 1) 100%H.A, 2) 100%H.T, 3) 40%H.A-60%H.T%, 4) 50%H.A-50%H.T, 5) 60%H.A-30%H.T-10%G, 6) 70%H.A-20%H.T-10%G (H.A= Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo, G= Gluten). Las formulaciones se evaluaron mediante pruebas físicas (peso, volumen y apariencia) y una prueba sensorial de preferencia, para escoger la mejor formulación, a la cual se le evaluó su calidad nutrimental mediante su análisis químico proximal, digestibilidad *in vitro* y perfil de aminoácidos y por último se evaluó su aceptación por el consumidor mediante una prueba sensorial de nivel de agrado. Los resultados mostraron que se logró sustituir la harina de trigo por harina de amaranto hasta en un 70% obteniéndose bagels con buenas características físicas y sensoriales. La mejor formulación fue 70% H.A-20% H.T-10% G. El bagel elaborado con esta formulación tuvo una mejor calidad nutrimental que uno comercial y el elaborado en el laboratorio ambos hechos solo con trigo, ya que contiene mayor contenido de proteínas, lípidos, cenizas y bajo contenido de carbohidratos. Además, el perfil de aminoácidos mostró que su proteína contenía todos los aminoácidos esenciales en cantidades mayores al bagel elaborado con harina de trigo y una buena digestibilidad. Por último, se observó que el bagel elaborado con la mejor formulación fue aceptado por el 79% de los jueces con una calificación de 7.2 en una escala del 1 al 10.

INTRODUCCIÓN

Los cereales son un grupo de alimentos que se les caracteriza por poseer una amplia gama de nutrimentos: fibra, carbohidratos, antioxidantes fenólicos, minerales, etcétera (Badui, 1994). El trigo es el cereal más importante a nivel mundial y el segundo después del maíz en México, pues con él se elaboran muchos productos como pan, pastas, galletas, atoles, papillas y pasteles (INEGI, 2010; Falder, 2002). Para la elaboración de cada tipo de producto, se utilizan diferentes variedades de trigo. Así para la elaboración de pastas, se utilizan trigos muy duros (durum o cristalinos), los trigos suaves o blandos se utilizan en la elaboración de galletas, pasteles y cereales de desayuno y los trigos duros se utilizan para la elaboración de pan (Serna, 2001). Dentro de la gran diversidad de productos elaborados con trigo, esta un producto novedoso que es el bagel, elaborado a partir de una formulación sencilla que incluye harina de trigo panadera, azúcar, sal y levadura fresca, que está ubicado en los mercados dietéticos y que en los últimos años ha incrementado su consumo en México (Lallemand, 1996). Actualmente México presenta un problema mundial relacionado con los malos hábitos alimenticios, alrededor del 70 por ciento de los mexicanos adultos tienen sobrepeso. La obesidad infantil se triplicó en una década y casi un tercio de los adolescentes tienen sobrepeso. Los expertos dicen que cuatro de cada cinco de esos chicos pesados lo seguirá siendo toda su vida y oficialmente hoy ocupamos el primer lugar en obesidad infantil y adulta según informe de la FAO (2013). Por estas razones, surge la necesidad de disponer de alimentos capaces de suministrar a la población una dieta variada y nutritiva. Una buena opción es el amaranto, ya que es un grano que se usa poco en la elaboración de alimentos pero posee características agroalimentarias muy prometedoras para mejorar la calidad de vida de sus consumidores. Los amarantos poseen características similares a la de los cereales, su sabor y producción de granos son parecidas pero con una mejor calidad nutrimental (Morales *et al.*, 2009). Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y otros aminoácidos esenciales, por lo tanto, es un complemento nutricional óptimo para productos de panificación elaborados con trigo (Dyner *et al.*, 2007). Es por eso que en el presente trabajo se planteó como objetivo, desarrollar una formulación a base de trigo y amaranto para la elaboración de un bagel con mejor calidad nutrimental que uno comercial sin alterar sus características sensoriales. Para cumplir este objetivo se trabajará con granos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) variedad Tulyehualco cosecha 2010. También se evaluarán diferentes harinas comerciales de trigo para seleccionar la que mejores características físicas (peso, volumen y apariencia) le den al

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

bagel. Se evaluarán químicamente la harina de amaranto y la harina de trigo comercial seleccionada; después se propondrán diferentes formulaciones partiendo desde un 40% de harina de amaranto hasta 100%, complementándolas con harina de trigo y gluten, para elaborar los bagels se utilizará un proceso de panificación de amasado directo y se evaluarán mediante pruebas físicas (peso, volumen y apariencia) y una prueba sensorial de preferencia para seleccionar la mejor formulación. Una vez seleccionada se evaluará la composición química del bagel elaborado con esta formulación y su calidad nutricional por digestibilidad *in vitro*, triptófano y perfil de aminoácidos. Por último se evaluará sensorialmente mediante una prueba de nivel de agrado.

1. ANTECEDENTES

1.1 TRIGO

1.1.1 Origen.

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Éufrates. Desde el Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicoccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar (David, 2001). Los primeros estudios en 1855 encontraron especies silvestres de trigo en la región que hoy corresponde a Israel, descubriéndose también trigo silvestre más tarde en Palestina. También se estableció que especies de trigo se cultivan alrededor de 8400-7500 años a.C. en Siria y en zonas que son parte de Irak (Kill y Turnbull, 2001).

Se dice que el trigo llegó a nuestro país en la época de la conquista, a través de embarcaciones españolas que arribaron con grandes cantidades de trigo, pero la historia lo documenta de otra manera. Según relato de los historiadores Andrés de Tapia y Francisco López de Gomorra, el negro portugués Juan Garrido, criado de Hernán Cortés, fue el primero en sembrar y cosechar trigo en México al encontrar mezclados tres granos en un costal de arroz. Solo germinó uno que dio 180 granos y de esa espiga se hicieron otras siembras que comenzaron a cultivarse en diferentes regiones de la Nueva España (Primo, 1987; Hosney, 1991).

1.1.2 Producción

El cultivo de trigo en México ocupa el segundo lugar en importancia después del maíz en cuanto a la superficie de cosecha. Por otra parte, es también el segundo cereal más consumido en México. En la figura 1 se observa la producción de trigo durante los últimos 12 años, SAGARPA menciona que en 2009 se produjeron 4.1 millones de toneladas de trigo, de las cuales 48% fue panificable y el resto cristalino y que en 2010/11, se esperaban condiciones climáticas favorables y una alta expectativa de precios, pero como se refleja en la figura 1, la producción de trigo no superó las 4.2 millones de toneladas que se esperaban, esto se asocia a los cambios climáticos y a las malas prácticas agrícolas.



Figura 1. Producción anual de trigo en México.

Fuente: SAGARPA, 2012

1.1.3 Clasificación botánica

El trigo es una planta gramínea de crecimiento anual de la familia del césped, de altura promedio de un metro (figura 2). Sus hojas verdes, parecidas a las de otras gramíneas, brotan muy pronto y van seguidas por tallos muy delgados rematados por espigas de cuyos granos molidos se obtiene la harina (Calaveras, 2004). Los frutos de esta gramínea contienen un paquete de nutrientes que se utilizan y modifican durante la germinación y el temprano desarrollo de la plántula. Además este almacén de nutrientes está propiamente organizado y amparado pues contiene barreras físicas y químicas de protección contra agentes bióticos (Serna, 2003).

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Reino: Vegetal

División: Fanerógamas

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Monocotiledóneas

Orden: *Glumiforas*

Familia: *Gramiceas*

Especie: *T.aestivum*, *T.compactum*, *T.durum*.



Figura 2. Plantas de Trigo

1.1.4 Características del trigo

El grano de trigo corresponde al fruto que encierra una sola semilla o botánicamente, la cariósida de la planta común del trigo, *Triticum aestivum* (Desrosier, 1989). Los granos de trigo son ovalados, redondeados en ambos extremos. La figura 3 muestra un esquema del grano de trigo, el cual tiene un tamaño promedio de 8 mm de longitud y 35 mg de peso, variando según la especie, la variedad, medio ambiente o las condiciones de cultivo. El lado donde se localiza el germen es conocido como lado dorsal y el lado opuesto al germen se conoce como lado ventral. Usualmente el grano de trigo es blanco o rojo aunque se conoce también el morado. El color está dado por los pigmentos en la semilla, cuya presencia y tipo están bajo control genético (Hoseney, 1991).

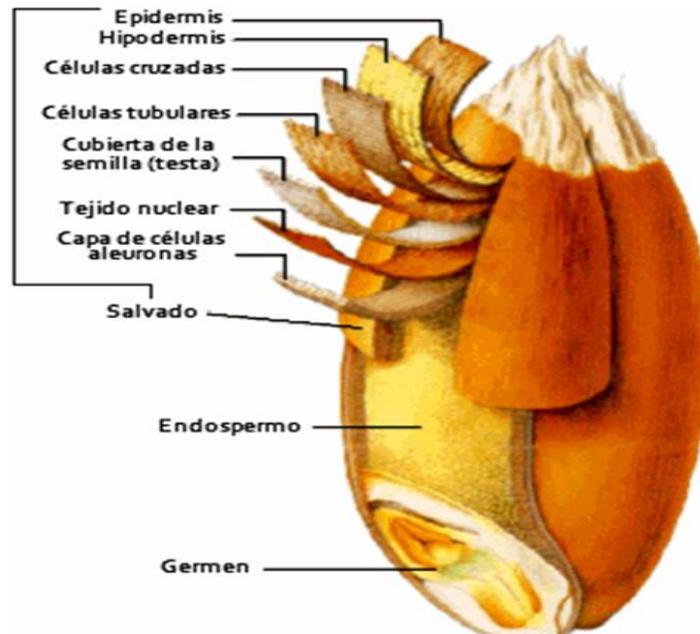


Figura 3. Diagrama esquemático del grano de trigo

Fuente: Fálder, 2009

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

En general el grano de trigo esta compuesto por endospermo que constituye el 83% del total del grano; el salvado formado por las capas externas del pericarpio, las capas envolventes del endospermo o aleurona y las del germen, que constituyen el 14% del total del grano y por último el germen que constituye el 3% del total del grano y su finalidad es formar la futura planta (Hoseney, 1991).

El «salvado» a su vez se divide en pericarpio, cubierta de la semilla o testa, tejido nuclear y una capa de células de aleuronas. El pericarpio envuelve a la semilla actuando como protector y está compuesto por varias capas:

- a) Epidermis.
- b) Hipodermis.
- c) Restos de células de paredes delgadas.
- d) Células intermedias.
- e) Células cruzadas.
- f) Células tubulares.

Las tres primeras capas componen al pericarpio externo (lo que los harineros llaman alas de abeja) y las tres restantes pertenecen al pericarpio interno (endocarpio). El pericarpio tiene una composición aproximada de 6% proteína, 2% ceniza, 20% celulosa y 0.5% de grasa con el resto de pentosanas y fibra. La capa de aleurona, rodea el grano por completo y botánicamente, es la capa exterior del endospermo, sin embargo, se elimina durante la molienda constituyendo parte de lo que se conoce como salvado (Hoseney, 1991).

El «endospermo» esta constituido por tres tipos de células: periféricas, prismáticas y centrales. El contenido y paredes celulares del endospermo, constituyen la harina. Las células están repletas de granos grandes de almidón incluidos en una matriz proteica. La mayor parte, aunque no toda, de la proteína es el gluten, las proteínas de reserva del trigo. Sin embargo al madurar el grano, los cuerpos proteicos se comprimen unos contra otros formando una matriz como de barro o arcilla con lo que ya no son conspicuos los cuerpos proteicos. El endospermo puede variar en textura (dureza) y en aspecto (cualidad vítrea). La dureza es producida por la fuerza de unión ente la proteína y el almidón en el endospermo, fuerza que es controlada genéticamente (Hoseney, 1991).

El germen esta constituido por dos partes principales: eje embrionario (raíz y tallo rudimentarios) y el escutelo que tiene el papel de almacén. El germen es relativamente rico en proteína (25%), azúcar (18%), aceite (16% del eje embrionario y 32% del escutelo es aceite) y cenizas (5%) no contiene almidón, pero es bastante rico en vitaminas B además de muchas enzimas. Los azúcares son principalmente sacarosa y rafinosa (Hoseney, 1991).

1.1.5 Clasificación con base en la NMX-036-1996

Los trigos en México se clasifican sobre la base de las propiedades del gluten del trigo. Los principales tipos de trigo que se cultivan en México, se dividen en 5 grandes grupos, 4 que corresponden a la especie *Triticum aestivum L* y el 5º grupo que corresponde a la especie *Triticum durum* (NMX-036-1996).

- Grupo 1. Trigos de gluten fuerte. Poseen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria mecanizada de la panificación y para mezclas con trigos suaves.
- Grupo 2. Trigos de gluten medio fuerte. Poseen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria artesanal y semimecanizada de pan, así como para mezclas con trigos suaves.
- Grupo 3. Trigos suaves de gluten débil. Tienen las características de fuerza y propiedades visco-elásticas aptas para la industria galletera y para la elaboración de otros productos.
- Grupo 4. Trigos de gluten tenaz. Es el que posee poca fuerza y valores de tenacidad altos, aptos para mezclas y en la producción de harinas con diferente potencial de utilización en la industria pastelera, galletera y en otros productos.
- Grupo 5. Trigos cristalinos, aptos para la producción de semolinas, utilizada en la elaboración de pastas y otros productos.

1.1.6 Composición química y valor nutritivo

El grano maduro del trigo esta formado por : Hidratos de carbono (Fibra cruda, almidón, maltosa, sacarosa, glucosa, melobiosa, pentosanos, galactosa y rafinosa), compuestos nitrogenados (principalmente proteínas: albuminas globulinas, prolaminas y gluteínas), lípidos (Ácidos grasos: mirístico, palmítico, esteárico, oleico y linoléico), sustancias minerales (K, P, S, Cl) y agua (Tabla 1) junto a pequeñas cantidades de vitaminas (tiamina,

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

riboflavina y otras del complejo B) y otras sustancias como pigmentos (Primo, 1987; Hosney, 1991).

Tabla 1. Composición química promedio del grano de trigo.

Componente	(%)
Humedad	12.5
Proteína	14 ^a
Cenizas	1.9
Lípidos	2.1
Fibra	2.6
Hidratos de carbono	66.9

Fuente: San Miguel 2006. (a) N x 5.7

Estos nutrientes se encuentran distribuidos en las diversas partes del grano de trigo, y algunos se concentran en regiones determinadas (Primo, 1987). Las proteínas de los cereales son diferentes en uno o más aminoácidos esenciales. Los alimentos preparados con trigo son fuente de proteínas incompletas, esto significa que pudiera contener los 8 aminoácidos esenciales pero no todos ellos en nivel adecuados (Tabla 2), por lo que, la combinación del trigo con otros alimentos podría proporcionar una proteína completa, como podría ser el caso del amaranto. El primer aminoácido limitante del trigo es la lisina, seguido, por la metionina y triptófano (Serna, 2001).

Tabla 2. Composición de aminoácidos de la proteína del trigo. (g/100g de proteína).

Fenilalanina	2.6	Ac. Aspàrtico	3.7
Histidina	4.1	Ac. Glutámico	20
Isoleucina	2.9	Alanina	4.2
Leucina	5.1	Arginina	10.6
Lisina	3.7	Cistina	1.5
Metionina	1.2	Glicina	6.1
Treonina	2.4	Prolina	9.0
Triptófano	1.1	Serina	5.3
Valina	4.2	Tirosina	1.7

Fuente: Primo, 1987.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Por otra parte, las proteínas de reserva del trigo son únicas, porque son proteínas funcionales. Se pueden distinguir dos grupos de proteínas de trigo: a) proteínas que forman al gluten con un desempeño muy importante en la elaboración del pan y b) proteínas no pertenecientes al gluten, con un desempeño secundario en la elaboración del pan (Figura 4). Tienen la facultad de formar una masa fuerte que retenga gas y rendirá productos horneados esponjosos; concretamente la gliadina y glutenina, proteínas que forman el gluten (Hoseney, 1991; Rivera y Romero, 1996).

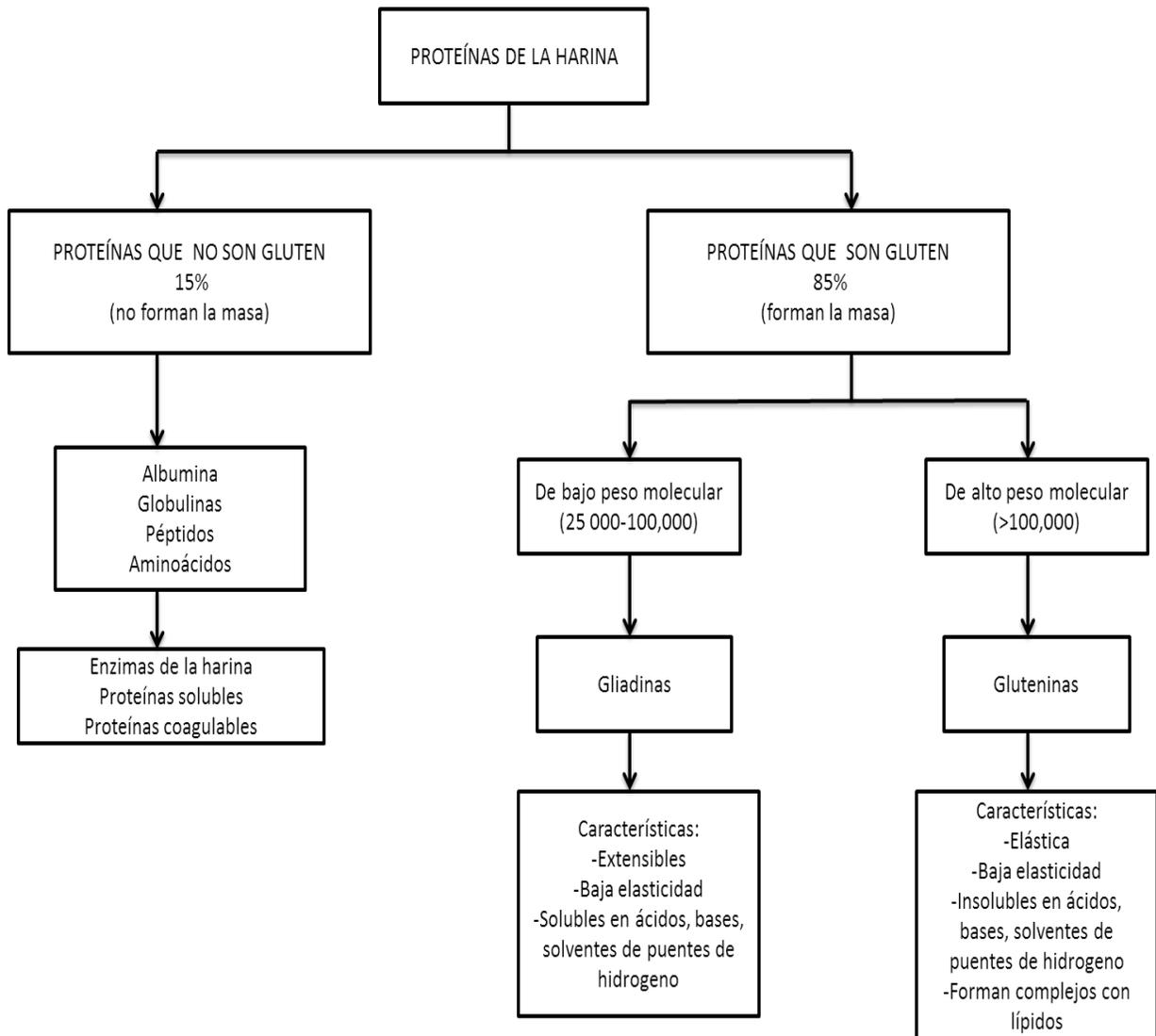


Figura 4. Clasificación de las proteínas del trigo según su funcionalidad.

Fuente: Rivera y Romero, 1996.

1.2. GLUTEN

El gluten junto con la estructura de los gránulos de almidón determina la capacidad de absorción de agua de las harinas. Un hecho que después se va a reflejar en la calidad de las masas utilizadas en la elaboración del pan (Fálder, 2002). Entre las proteínas que contiene el trigo, las principales, desde el punto de vista tecnológico son las que forman el gluten. Este componente es esencial para la elaboración de pan y en general para la elaboración de productos de panificación, ya que las proteínas que lo forman, la gliadina y glutenina al mezclarse con agua forman lo que se conoce como gluten, componente responsable de formar masas fuertes y elásticas (Charley, 2000).

Las gliadinas representan el 80% del total de las proteínas, son una clase heterogénea de 40-60 polímeros que por electroforesis se han dividido en cuatro grupos (α , β , γ , ω), en una proporción de 15, 30, 30 y 25% respectivamente. Sus cadenas simples tienen estructuras primarias con diferente composición de aminoácidos y su peso molecular varía de 25 000 a 100 000 kDa. Su conformación se estabiliza por enlaces disulfuro intramoleculares, por lo tanto al hidratarse forman una masa viscosa extensible, fluida pero poco elástica y son las responsables de la expansión de las masas durante la elaboración del pan. Cuando existe un exceso de gliadinas en relación con las gluteninas, el gluten se vuelve débil, permeable y no retiene dióxido de carbono. Se han identificado también 15 gluteninas en forma monoméricas que tienen pesos moleculares desde 12 000 hasta 135 000 kDa. Son de cadena ramificada y se caracterizan por su elevado número de enlaces disulfuro inter e intramoleculares que le confieren una gran estabilidad por lo que al hidratarse producen una masa muy tenaz, elástica y cohesiva. Para elaborar pan, estas proteínas deben estar en una proporción adecuada ya que en exceso el gluten presenta tanta cohesividad que inhibe la expansión de la masa y provoca una reducción del volumen final (Badui, 1994).

La relación en que se encuentran la gliadina y glutenina determinan la resistencia mecánica del gluten, normalmente ésta es de 20% de glutenina y un 80% de gliadina. Dada la importancia del gluten en la elaboración de productos a base de trigo, existe una clasificación de este grano basada en el tipo de gluten que representa. Las proteínas del gluten son pobres en aminoácidos básicos (Tabla 3), por lo tanto no tienen potencial de cargas negativas y solamente bajos niveles de cargas positivas. De estos hechos se deduce que las proteínas del gluten tienen baja densidad de cargas. Este bajo nivel de cargas,

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

significa que las fuerzas de repulsión dentro de la proteínas son pequeñas y por lo tanto, las cadenas proteicas pueden interactuar entre si muy fácilmente, condición que parece ser necesaria para la formación de masas.

Tabla 3. Composición de aminoácidos del gluten, gliadina y glutenina. (Moles de aminoácido por 10^5 g de proteína)

Aminoácido	Gluten	Gliadina	Glutenina
Arginina	20	15	20
Histidina	15	15	13
Lisina	9	5	13
Treonina	21	18	26
Serina	40	38	50
Acido aspártico	22	20	23
Acido glutámico	290	317	278
Glicina	47	25	78
Alanina	30	25	34
Valina	45	43	41
Leucina	59	62	57
Isoleucina	33	37	28
Prolina	137	148	114
Tirosina	20	16	25
Fenilalanina	32	38	27
Triptófano	6	5	8
Cistina	14	10	10
Metionina	12	12	12
Amonio	298	301	240

Fuente: Pomeranz, 1978.

Por estas razones es indispensable utilizar harina de trigo para la elaboración de productos panificables, pero se puede combinar con granos como el amaranto para mejorar la calidad nutrimental de estos productos.

1.3 AMARANTO

1.3.1 Origen

El amaranto (del griego ἀμάραντος, que significa inmortal e inmarchitable) es considerado como un pseudocereal de cultivo anual, en esta semilla predomina el almidón, lo que aunado a sus características agronómicas también semejantes, han llevado a considerarlo de este modo, debido a su sabor que es parecido al de ellos y por que produce grano o semilla del tipo de los cereales (Becerra, 2000). Históricamente, el grano de amaranto, es probablemente junto al maíz, el grano más antiguo por que tiene presencia en América cuatro mil años antes de Cristo. Los primeros en utilizarlo fueron los Mayas y luego los Aztecas en sus ceremonias religiosas, que fueron abolidas por los conquistadores, logrando con eso una caída sustancial de la producción y disponibilidad a pesar de sus grandes bondades nutricionales (Rodas y Bressani, 2009). Existen hallazgos arqueológicos que indican que el grano de amaranto fue uno de los alimentos más importantes en el México prehispánico como se muestra en la figura 5 (Morales *et al.*, 2009).



Figura 5. Hombre prehispánico con amaranto.
Fuente: Morales *et al.*, 2009.

Existen cerca de 20 especies del género *Amaranthus* en México que crecen en forma silvestre. Dos de ellas *A. hypochondriacus L.* y *A. cruentus L.* fueron domesticadas por algunos grupos étnicos prehispánicos de México, quienes las utilizaban como parte de su dieta y de sus rituales religiosos (Legaria, 2010).

La familia *Amaranthaceae* comprende más de 60 géneros y 800 especies. El *Amaranthus hypochondriacus* y el *Amaranthus cruentus* cultivados en Mesoamérica (México y Guatemala) y el *Amaranthus caudatus* cultivado en el Perú, son las especies productoras de granos. Además de las especies que producen granos, existen otras especies que ofrecen sus

hojas como verdura de alto valor nutritivo tanto por su contenido de proteína como de vitaminas y minerales (Rodas y Bressani, 2009).

A primera vista, la semilla de amaranto parece ser algo desconocido, pero resulta familiar al saber que de ella se obtienen las tradicionales “alegrías”. El nombre alegría se asignó en el siglo XVI al dulce que se fabrica con la semilla reventada y luego, por extensión, a la planta entera. Antes de la llegada de los españoles, los indígenas solo utilizaban el huautli (amaranto reventado). A fray Martín de Valencia (1473-1534) se le ocurrió mezclarlo con miel. Cuentan los relatos de la época que uno por uno de los indígenas fueron probando el dulce resultante y les pareció tan sabroso que empezaron a cantar y a bailar de alegría. De ahí –dice la leyenda- surgió el nombre de este dulce (Santín y Lazcano, 1986).

1.3.2 Producción

El amaranto no ocupa un lugar en los productos básicos del sector agropecuario mexicano como el maíz, trigo, soya, arroz o frijol, sin embargo, la FAO lo cataloga como un cultivo con alta cantidad de nutrientes y capacidad productiva que podría aprovecharse en México, ya que hasta el momento no se importa amaranto, según información de la Asociación Mexicana del Amaranto (SAGARPA, 2012).

De acuerdo con datos de la Secretaría de Agricultura (figura 6), la producción del amaranto ha tenido sus altibajos, esto principalmente está asociado a los cambios climáticos, en el año 2001 se tuvo la mejor cosecha de este cultivo que fue de 4 mil 700 toneladas, pero cayó a las 2 mil 300 toneladas en el 2003 y desde entonces volvió a repuntar hasta el 2010 con 4 mil 493 toneladas, pero lamentablemente ha vuelto a caer la producción.

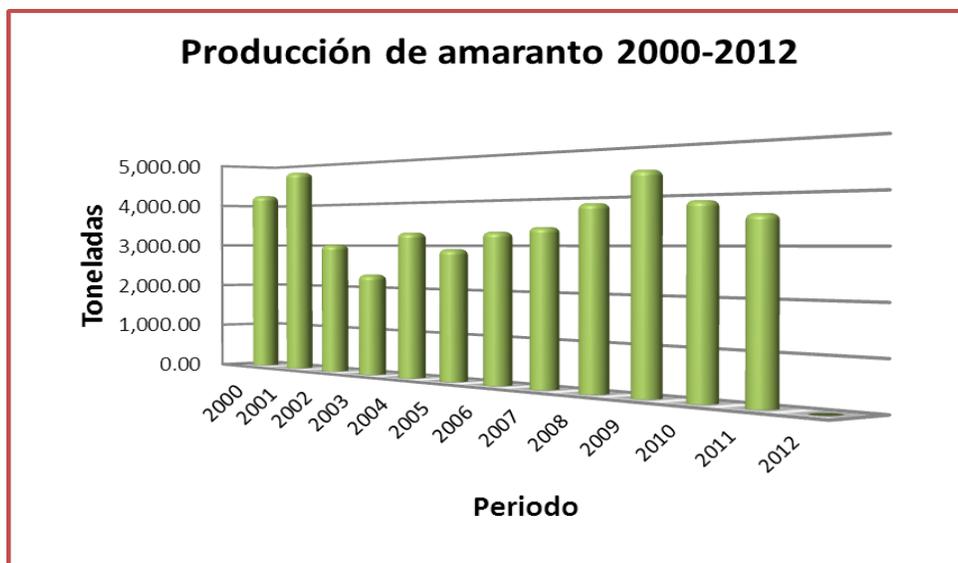


Figura 6. Producción anual de amaranto en México.

Fuente: SAGARPA, 2012.

1.3.3 Clasificación botánica

Es una planta dicotiledónea, perteneciente a la familia *Amaranthaceae*, especie anual de crecimiento rápido, herbácea o arbustiva de diversos colores y se reproduce mediante la auto polinización, principalmente por la acción del viento. Las plantas son, por lo general, matizadas con pigmentos rojizos llamado *amarantina*; el color se manifiesta desde las primeras etapas de crecimiento de las plantas, y poco después de la germinación (Morales *et al.*, 2009). A continuación se muestra su clasificación botánica;

Reino: Vegetal

División: Fanerógama

Subdivisión: Angiosperma

Clase: Dicotiledóneae

Subclase: *Archyclamidaeae*

Orden: Centrospermales

Familia: *Amaranthaceae*

Género: *Amaranthus*

Sección: *Amaranthus*

Especies: *A. caudatus*, *A. cruentus* *A. hypochondriacus*



Figura 7. Planta de amaranto

Fuente: Morales *et al.*, 2009

1.3.4 Descripción de la planta de amaranto

El amaranto es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias (Figura 8.). El tallo es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud. Las hojas son pecioladas, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, de tamaño variable de 6.5-15 cm. La inflorescencia del amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes (Mujica *et al.*, 1997; Nieto, 1990).



Figura 8. Cultivo del amaranto en Tulyehualco Distrito Federal.

La semilla es pequeña, lisa, brillante de 1-1.5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo, las especies silvestres presentan granos de color negro con el epispermo muy duro (San Miguel, 2006).

El fruto es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. Siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla (Sánchez, 1980). Existen algunas

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto, figura 9 (Brenner, 1990).

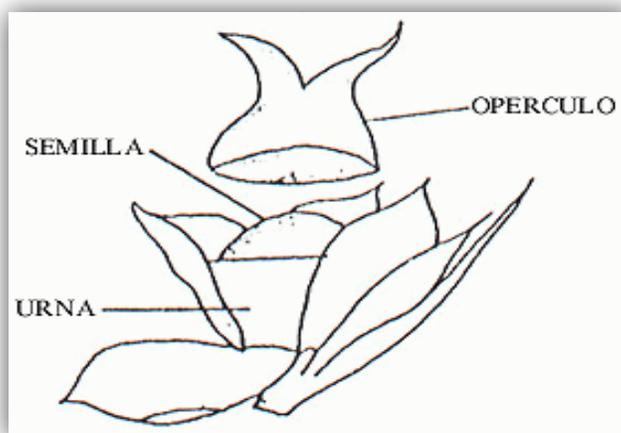


Figura 9. Pixidio unilocular de amaranto

Fuente: Morales *et al.*, 2009

En el grano se distinguen cuatro partes importantes: episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endosperma que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perisperma rica en almidones (Figura 10) (Irving *et al.*, 1981).

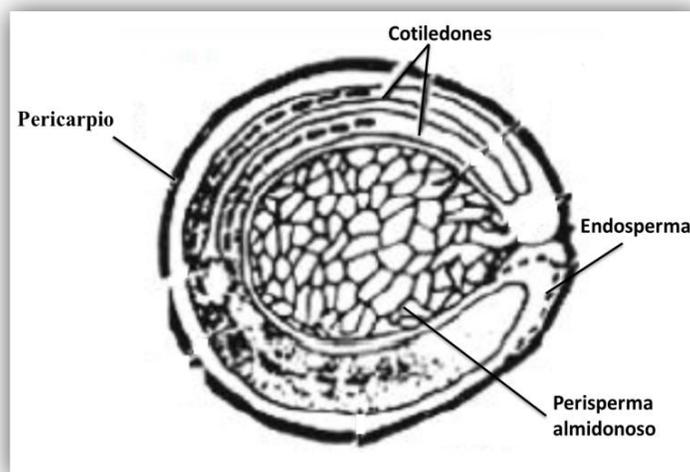


Figura 10. Diagrama de la semilla de amaranto

Fuente: Irving *et al.*, 1981

1.3.5 Valor Nutritivo y composición química

Los amarantos poseen características similares a la de los cereales, su sabor y producción de granos son parecidas pero con una mejor calidad nutrimental en comparación con otros cereales como se muestra en la tabla 4 (Morales *et al.*, 2009). Su proteína es excepcional en cuanto a su calidad por su alto contenido de lisina y otros aminoácidos esenciales, por lo tanto, es un complemento nutricional óptimo para productos de panificación elaborados con trigo que es un grano deficiente en lisina (Dyner *et al.*, 2007). Se le considera un pseudocereal muy rico en nutrimentos esenciales para el ser humano. Es fuente de vitaminas y minerales tales como: provitamina A, complejo B y C, Calcio, Potasio, Magnesio y Hierro (Teutonico y Knorr, 1985).

Tabla 4. Tabla comparativa de la composición química del grano de amaranto y otros cereales de uso común.

Análisis	Amaranto	Maíz	Arroz	Trigo	sorgo
Humedad	11.1	13.8	11.7	12.5	11.0
Proteína Cruda	17.9 ^a	10.9 ^b	8.5 ^b	14.0 ^c	12.3 ^d
Grasas	7.7	4.5	2.1	2.1	3.7
Fibra	2.2	2.3	0.9	2.6	1.9
Cenizas	4.1	1.4	1.4	1.9	1.9
Hidratos de carbono	57.0	67.7	75.4	66.9	70.7

Fuente: San Miguel, 2006

*(a) Amaranto (N x 5.85), (b) Maíz y Arroz (N x 6.25), (c) Trigo (N x 5.7), (d) Sorgo (N x 5.8)

El amaranto no solo es cuestión de cantidad; su proteína es también sobresaliente y excepcional en cuanto a su calidad. Los cereales (maíz, trigo, arroz, etc.) son considerados “no balanceados” en términos de su composición de aminoácidos, ya que precisamente les hace falta mayor cantidad de lisina para dar una alimentación óptima. Las proteínas del amaranto, sin embargo, tienen casi el doble del contenido de lisina que el trigo, tres veces más que el maíz y, por cierto, tanta como se encuentra en la leche. El amaranto es, por lo tanto, un complemento nutricional óptimo para los cereales convencionales (San Miguel, 2006).

1.3.5.1 Proteínas

Existen aproximadamente 20 aminoácidos, los cuales se clasifican en varias formas, de acuerdo a su estructura molecular, sus propiedades, pero también de acuerdo a su obtención por parte del hombre. En esta última clasificación se tienen los esenciales y los no esenciales. Los aminoácidos esenciales son aquellos que forzosamente debemos incluir en la dieta dado que nuestro organismo no es capaz de sintetizarlos y los no esenciales son los que el organismo puede sintetizar (Tabla 5) (García, 2010).

Tabla 5. Aminoácidos esenciales y no esenciales

Esenciales	No esenciales
Valina (Val)	Alanina (Ala)
Leucina (Leu)	Prolamina (Pro)
Isoleucina (Ile)	Glisina (Gly)
Fenilalanina (Phe)	Serina (Ser)
Metionina (Met)	Cisteina (Cys)
Treonina (Thr)	Asparagina (Asn)
Lisina (Lys)	Glutamina (Gln)
Triptófano (Trp)	Tirosina (Tyr)
Histidina (His)	Ácido aspártico (Asp)
Arginina (Arg)	Ácido glutámico (Glu)

Fuente: García 2010

Las proteína del grano de amaranto esta compuesta por un buen balance de aminoácidos esenciales, principalmente lisina que es uno de los aminoácidos estratégicos en la nutrición y los niveles de esta, son superiores a los de todos los demás cereales (Tabla 6) (Bressani, 1989). Se ah estudiado el contenido de fracciones proteicas en el grano, basada en su solubilidad y se ah reportado que la distribución de proteínas, era de 20.7% de albuminas, 19.2% de globulinas, 2.2% de prolaminas y 49.5% de gluteninas, con una relación entre globulinas y albuminas de 0.95 (Bressani, 1990; García, 2010).

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

El amaranto posee entre 14 y 18 g de proteína ; valor superior al de todos los cereales (por ejemplo el trigo: 10 á 15 g, arroz: 5 á 8 g). Las extraordinarias propiedades nutricionales y fisicoquímicas de la proteína del amaranto están bien documentadas (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

Tabla 6. Contenido de aminoácidos esenciales (mg/ g N) en grano de amaranto y comparado con el patrón establecido por FAO Y OMS.

Aminoácido	<i>A. hypochondriacus</i>	FAO/OMS
Isoleucina	250	250
Leucina*	388	440
Lisina	401	340
Metionina*	131	220
Fenilalanina	328	380
Treonina*	268	250
Triptofano	84	60
Valina	304	310

Fuente: San Miguel, 2006

*Han sido reportados como el primer aminoácido limitante (San Miguel, 2006).

Según la FAO (*Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*) y la OMS (*Organización Mundial de la Salud*), sobre un valor protéico ideal de 100, el amaranto posee 75, la leche vacuna 72, la soja 68, el trigo 60 y el maíz 44. Cuando se realizan mezclas de harina de amaranto con harina de maíz, la combinación resulta excelente, llegando a índices cercanos del 100, porque el aminoácido que es deficiente en uno abunda en el otro. Además, la digestibilidad de su grano es del 93%. A su vez, el grano de amaranto no posee gluten, por lo que es un alimento apto para celíacos (San Miguel, 2006).

Se debe tener en cuenta que al no ingerir aminoácidos esenciales se dan diferentes tipos de desnutrición dependiendo del aminoácido faltante, estos problemas generalmente se presentan durante las primeras etapas de desarrollo del ser humano (García, 2010). Cabe aclarar que las dietas se ven beneficiadas al tener una alimentación mixta donde los

alimentos se complementan. De este modo los alimentos con aminoácidos limitantes se ven complementados por otros alimentos que contienen ese aminoácido en mayor cantidad. (Chávez *et al.*, 1993).

1.3.5.2 Lípidos

Los lípidos son moléculas orgánicas de cadena larga o corta, que se encuentra en el organismo. Estas moléculas contienen carbono, hidrogeno y en algunas oxígeno. Los lípidos se pueden clasificar en saponificables y no saponificables, simples y complejos, saturados e insaturados, entre otras. Los lípidos saturados son los que no cuentan con dobles enlaces dentro de la cadena lipídica teniendo enlaces simples entre carbono y carbono y los insaturados son los que cuentan con uno (monosaturados) o más dobles enlaces (poliinsaturados) entre carbono y carbono dentro de la cadena lipídica (Badui, 1994).

Dentro de los lípidos insaturados se tienen diferentes tipos, pero los más importantes son los Omega-3 y Omega-6, estos son ácidos grasos poliinsaturados esenciales para el organismo ya que son parte de las estructuras de membranas celulares, son usados en el proceso de obtención de energía y la síntesis de hormonas entre otras cosas. Son esenciales dado que el organismo no las puede sintetizar y su ausencia produce problemas metabólicos.

Los lípidos totales contenidos en el grano de amaranto están en un rango de 5.4 a 10% en base seca. De esta composición se tienen triglicéridos hasta en un 90%, en un 6.4% de glicolípidos y en un 3.6% fosfolípidos. Contienen ácidos grasos insaturados en un 77%. En este caso el más importante es el linoleico, uno de los ácidos grasos indispensables pues el organismo no puede producir por si solo y que es necesario ingerirlos de alguna fuente de alimento (Farfan, 1993).

La característica que los hace Omega 3 y 6 es que presentan el doble enlace dentro de los últimos 7 carbonos a partir del metilo terminal ocupando las posiciones 3 (n-3, Omega-3) y 6 (n-6, omega-6). La semilla de amaranto contiene en mayor cantidad 2 ácidos grasos importantes: el linoleico (Omega-6) y el oleico (Omega-9). (Broughton y Johnson, 1997;

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Kinsella *et al.*, 1998; Paredes, 1999). En la tabla 7 se muestra los principales ácidos grasos de la semilla de amaranto.

Tabla 7. Composición del aceite de la semilla del amaranto.

Ácidos Grasos	Contenido (g/100g)
Ácido oleico	23.3
Ácido linoleico	44.0
Ácido palmítico	18.4
Ácido linolénico	1.3
Ácido mirístico	0.2
Ácido miristoleico	0.1
Ácido miristolénico	0.1
Ácido palmitoleico	0.8
Ácido palmitolénico	0.9
Ácido esteárico	3.8

Fuente: Casillas, 1986.

Ingerir *ácidos grasos poli-insaturados* (esenciales, entre ellos los ácidos grasos ω -3 y ω -6), para el ser humano es de interés vital porque nos proveen con energía, bajan el colesterol, inhiben la producción de coágulos de sangre y disminuyen el riesgo de enfermedades cardiovasculares, estudios recientes llegan a suponer que los ácidos grasos ω -3 sean capaces de proteger el organismo ante trastornos cardíacos. En 100 g del amaranto, de sus aproximadamente 8 a 9 g, alrededor del 77% de la grasa son ácidos grasos insaturados, en una combinación muy apropiada para la alimentación humana (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

Además, el amaranto contiene escualeno, el cual es un lipido que comúnmente se obtiene de animales como la ballena y el tiburón, y se ha reportado que tiene efectos benéficos a la salud, tales como la disminución del riesgo de varios tipos de cáncer y en la reducción de los niveles de colesterol en sangre (Berger *et al.*, 2003), lo cual hace más atractivo el consumo del amaranto.

1.3.5.3 Carbohidratos

Almidón

El almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por plantas superiores y es la fuente de energía más importante para muchas especies incluyendo humanos. En cultivos agrícolas como los cereales (maíz, trigo, arroz), esta fracción representa del 30 al 80% del peso seco (Malca, 2001; García, 2010).

En el caso del amaranto, el almidón es el principal componente y su contenido puede variar desde 48 a 69% de acuerdo a la especie. El tamaño de la partícula y la distribución son algunas características que influyen en las propiedades funcionales de los gránulos de almidón. El amaranto presenta gránulos de 1 a 3 μ m con una forma esférica poligonal. (Morales *et al.*, 2009)

Los gránulos de almidón consisten de dos diferentes fuentes de polímeros de glucosa denominados amilosa y amilopectina. La amilosa constituye un promedio de 20 a 30% del almidón de los gránulos. El compuesto restante que conforma a los gránulos de almidón es la amilopectina (Smith, 2001).

De acuerdo al contenido de amilosa-amilopectina el almidón se clasifica en dos tipos:

- a) Tipo glutinoso, opaco o ceroso. Está formado principalmente por amilopectina con menos del 1% de amilosa. Se le denomina como la fracción no gelificante, contribuyendo principalmente a la viscosidad en los alimentos debido a su alta viscosidad.
- b) Tipo no ceroso, traslucido o normal. Está formado principalmente por amilosa con un contenido menor al 5% de amilopectina. Se le denomina la fracción gelificante y es el principal contribuyente en los fenómenos de retrogradación de almidón.

El almidón de amaranto es principalmente del tipo ceroso, aunque se han encontrado especies con almidón traslucido; estas diferencias pueden ser debidas aparentemente al ambiente en que crece la planta de amaranto.

Los carbohidratos del amaranto por su estructura tan fina, son muy fáciles de digerir, por lo que son proveedores principales de energía para el cuerpo humano, al consumir éste productos de amaranto, rápido se ponen a nuestra disposición (criterio indispensable con el que debe cumplir un alimento para que pueda brindar beneficios a los deportistas,

especialmente los de alto rendimiento, en su entrenamiento) (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

1.3.5.4 Vitaminas y minerales

El amaranto también contiene gran cantidad de minerales principalmente calcio, magnesio, fósforo y hierro (Teutónico y Knorr, 1985).

Hierro (que asume un papel vital en el crecimiento de los seres humanos porque es necesario no solo para lograr una adecuada oxigenación tisular sino también para el metabolismo de la mayor parte de las células): Con un valor de alrededor de 9 mg, el amaranto contiene el doble y hasta el triple de la cantidad de hierro que llevan el trigo (unos 4,5 mg) y el arroz (alrededor de 3 mg) (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

Calcio (es el mineral más frecuente en el organismo humano porque es primordial para la estabilidad de huesos y dientes, la comunicación y el movimiento de los nervios y músculos, entre muchas otras funciones): En la semilla de amaranto encontramos unos 200 mg (arroz: unos 25; trigo: entre 40 y 50 mg) (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

Magnesio (como segundo mineral más frecuente dentro de las células humanas, no sólo responsable junto con el calcio para la construcción del aparato óseo y dental, sino también para la síntesis de todo tipo de proteínas en el cuerpo, al igual que para el metabolismo energético, la comunicación de los nervios y músculos, en especial en el corazón): El amaranto en 100 g de semillas posee más de 300 mg de magnesio, alrededor del doble de lo que contienen el trigo (alrededor de 140 mg) y el arroz (unos 150 mg).

Fósforo (mineral esencial para el cuerpo humano porque sus compuestos y enlaces forman parte imprescindible en los ADN y ARN, la sustancia hereditaria, y en el metabolismo energético): Vemos en el amaranto entre 400 y 500 mg (arroz: alrededor de 120 mg; trigo; harina blanca: alrededor de 75 mg / harina integral: unos 340 mg) (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

Las vitaminas B1 (tiamina; juega un papel importante en el metabolismo de carbohidratos principalmente para producir energía, además de participar en el metabolismo de grasas, proteínas y ácidos nucleicos, ADN y ARN; es esencial para el crecimiento y desarrollo

normal y ayuda a mantener el funcionamiento propio del corazón, sistema nervioso y digestivo) amaranto: alrededor de 0,8 mg.

La vitamina B9/B11 (ácido *fólico*; entre otras funciones necesario para la creación y división celular en general, y especialmente para la creación de los ADN; con esto es de suma importancia para los fetos durante el embarazo): Encontramos en el amaranto como 50 µg por 100 g (arroz: menos de 20 µg; trigo harina blanca: alrededor de 6 µg / harina integral: unos 30 µg) (Asociación Mexicana del Amaranto, 2009).

El amaranto prácticamente no tiene factores antinutrimientales, como las leguminosas u otros granos, como: saponinas, inhibidores de tripsina y taninos, ni compuestos fenólicos. Los oxalatos y nitratos presentes en las hojas no representan un serio problema puesto que pueden eliminarse por medio del lavado (Sánchez, 1980; Paredes, 2001).

1.4 PANIFICACIÓN

1.4.1 Origen

Para conocer los orígenes del pan es necesario remontarse a un pasado muy lejano. El descubrimiento fue casual: en la Época Neolítica, un antepasado del hombre conoce ya las semillas y cereales, y sabe que una vez triturados y mezclados con agua, dan lugar a una papilla. Este hombre olvida la papilla en una especie de olla y al volver encuentra una torta granulada, seca y aplastada: el primer pan acaba de tomar forma. Desde ese momento, el pan ha estado unido a la evolución del hombre. Presente en conquistas, revoluciones, civilizaciones y descubrimientos, es decir, formando parte de la cultura universal. Probablemente los primeros panes estuvieron hechos con harinas de bellotas o de hayucos. Los arqueólogos han desenterrado fragmentos de pan ácimo en las excavaciones de los poblados cercanos a los lagos suizos. Se sabe que los egipcios elaboraban pan desde hace mucho tiempo y se cree que descubrieron la fermentación por casualidad. El pan comido por los hebreos no llevaba ningún tipo de levadura. En Roma, en la República ya había hornos públicos (I.N.T.I., 2006; Calaveras, 2004)

En la Edad Media empiezan a elaborarse distintos tipos de pan y como consecuencia de ello comienza su comercio; el pan blanco era un privilegio de los ricos y el pan negro era para el resto de la población. Se hacía a mano, en el propio hogar o en hornos públicos. En el siglo

XX empiezan a emplearse algunas máquinas: amasadoras, hornos automáticos, transportadoras, enfriadoras, cortadoras y hasta máquinas para envolver. A finales de este siglo se popularizan los panes integrales o negros (I.N.T.I., 2006).

1.4.2 Definición

Producto que resulta de la fermentación de la masa por acción de agentes leudantes o levadura, preparada con harina de trigo, harinas de cereales integrales o de leguminosas, agua, sal, azúcar, grasas comestibles y otros ingredientes (Serna, 2001). En la figura 11 se muestra algunas variedades de panes.



Figura 11. Imagen de algunas variedades de pan

Fuente: Serna, 2001

1.4.3 Clasificación

Esta clasificación de los productos de panificación es de acuerdo a lo indicado en la **NMX-F-521-1992:**

ALIMENTOS PRODUCTOS DE PANIFICACIÓN

Se clasifican de acuerdo a su composición en:

Tipo I: Pan blanco, bolillo y telera

Tipo V: Galletas

Tipo II: Pan de harinas integrales

Tipo VI: Pastas secas

Tipo III: Pan y Productos de bollería

Tipo VII: Pastel

Tipo IV: Pan dulce

Tipo VIII: Pay o tarta

En el presente trabajo nos interesa la elaboración de un “Bagel”, porque es un producto novedoso, que representa un nuevo nicho de mercado. Este alimento está clasificado en el Tipo I, ya que es un pan cocido por horneado de la masa fermentada, elaborada con harina de trigo, agua, sal, azúcar, levadura, ingredientes opcionales y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud.

1.4.4 Bagel

1.4.4.1 Origen

El bagel es un pan cuyo origen es desconocido, aunque se ha encontrado información que sugiere que tuvo su origen en Europa Central en el año de 1683 (Solo panes, 2013). Cuenta la información que un panadero de Cracovia fue el que elaboró este pan y se lo regaló al rey de Polonia, Juan III Sobieski. El motivo, agasajarlo celebrando la victoria sobre los turcos. Cracovia es una de las ciudades más antiguas, grandes e importantes de Polonia. Se le denominó Beugal (que significa estribo). Como siempre sucede, la receta la fueron variando agregándole un toque dulzón con miel, malta o azúcar. Pero el bagel tradicional se elabora con harina de trigo, sal, agua, levadura. Se mezclan los ingredientes hasta formar una masa para luego hacer los bagel con la forma tradicional que resulta parecida a una dona (rosquilla con un agujero en el medio como se muestra en la figura 12). Una vez formadas todas se cubren y se dejan leudar en un lugar a temperatura baja durante 12 horas. Su forma de cocción es distinta a otros panes pues primero se cuecen en agua sola y se terminan de cocinar en un horno precalentado a temperatura alta (Lallemand, 1996; Solo panes, 2013).



Figura 12. Bagels tradicionales

Fuente: Lallemand, 1996

Luego el pan bagel se hizo muy conocido en América del Norte, en particular en Montreal y Nueva York, el motivo fue la emigración de ciudadanos europeos y judíos. Como consecuencia, este pan se fue haciendo cada vez más popular entre la comunidad judía. Esto ocurrió a mediados del siglo XIX y las panaderías comenzaron a elaborarlo a nivel comercial. Las dos formas más conocidas del pan bagel son el de Montreal que lo elabora con huevo, malta, nada de sal y lo cocinan en agua con miel antes de llevarse al horno, horno a leña y le ponen sésamo por encima. Y el de Nueva York, que se elabora con malta y contiene sal y se cuece en agua y luego en un horno convencional, ambos tienen una textura y sabor diferente (Solo panes, 2013).

1.4.4.2 Proceso de panificación

Para la fabricación del bagel es necesario preparar la masa y los ingredientes básicos tales como harina, levadura, sal, azúcar y agua se mezclan siguiendo diferentes métodos. Las acciones de extender y doblar se utilizan para encontrar las condiciones idóneas de la masa en el momento en que las proteínas se humedecen y absorben agua y forman gluten. El desarrollo correcto del gluten es esencial para la elaboración del bagel (Calaveras, 2004; Serna, 2001).

Existen diferentes sistemas para la elaboración de pan y los más comunes son:

- Método de amasado directo; en este método los ingredientes se mezclan juntos de una sola vez y se dejan fermentar, este es un método popular especialmente para hacer pequeñas cantidades, los tiempos de fermentación van de 1 a 3 horas.
- Método esponja y amasado, este se hace en dos etapas; toda la levadura, el 50% de la harina y el 60% de agua, se mezclan y se dejan fermentar o esponjar entre 1 a 6 horas. En la segunda etapa, se mezclan el resto de los ingredientes y tras un segundo y breve periodo de fermentación es amasado.
- Método continuo altamente mecanizado más eficiente menos mano de obra y cortos tiempos.

Para el caso del Bagel se utiliza el método de amasado directo por que es vital que se mezclen todos los ingredientes y haya una fermentación antes del horneado para que la masa esponje y el gluten se pueda desarrollar por medio del amasado.

1.4.4.3 Ingredientes principales para la elaboración del bagel

Harina

La harina es el producto finamente triturado obtenido de la molturación del trigo. Según la NMX-F-007-1982 la harina se clasifica en un solo tipo y tres grados de calidad:

- Grado 1. Harina de trigo para panificación.
- Grado 2. Harina de trigo para galletas.
- Grado 3. Harina de trigo para pastas para sopa.

La harina de trigo es el material más importante ya que ésta determina las características del producto obtenido. La funcionalidad, la determina principalmente por el contenido de proteínas refiriéndonos tanto a la cantidad como a la capacidad de éstas para formar gluten.

La tabla 8 muestra la composición química de la harina de trigo.

Tabla 8. Composición química de la harina de trigo.

	Harina 100% extracción (%)	Harina 75% extracción (%)
Proteína (gluten)	12 a 13.5	8 a 11
Grasa	2.2	1 a 2
Almidón	67	71
Cenizas	1.5	0.55 a 0.65
Vitaminas (B y E)	0.12	0.03
Humedad	13 a 15	13 a 15
Fibra	11	3
Azúcares simples	2 a 3	1.5 a 2.5

Fuente: Calaveras, 2004

El almidón es el componente mayoritario en la harina y su importancia reside fundamentalmente en su capacidad de gelatinización que consiste en el hinchamiento de los gránulos de almidón al aumentar la temperatura de la masa en presencia de agua; esto ocurre durante el horneado del pan. Como se puede ver en la tabla 8, el contenido de grasa es poco ya que ésta se encuentra principalmente en el germen del trigo perdiéndose en la molturación, pero se ha observado que existe una relación directa entre las grasas y las proteínas de la harina durante el amasado ya que refuerza las propiedades del gluten (Mesas y Alegre, 2002; Calaveras 2004).

Las cenizas aunque sirven de alimento a la levadura (Barriga, 2003), tienen un efecto negativo en el desarrollo de la masa fermentada pues estos minerales se incrustan en las cadenas de proteínas formando cristalizaciones por las que puede existir pérdida de gas (Calaveras, 2004).

Agua

Es la que hidrata la harina, dándole a la masa las características de plasticidad que permiten su desarrollo y manejo. La presencia del agua es parte primordial en lo relativo a la formación de un medio húmedo indispensable para la creación y desarrollo de la fermentación. El agua que se utiliza en la panadería debe ser agua potable al igual que todas aquellas destinadas al consumo humano (I.N.T.I., 2006).

Sal

Refuerza las propiedades plásticas de la masa y las mejora notablemente:

- Fortalece el gluten aumentando la firmeza de la masa y mejorando su manejabilidad.
- Aumenta la absorción de agua.
- El exceso de sal tiende a reducir la capacidad de la levadura, incluso puede detener la fermentación.
- Confiere sabor.

La falta de sal en la masa se manifiesta con masas blandas, pegajosas y suaves y la miga del pan se desmorona (I.N.T.I., 2006; Barriga, 2003).

Azúcar

El azúcar sirve como sustrato de la levadura, da color a la corteza del pan por reacciones de oscurecimiento no enzimática una vez expuestos a altas temperaturas en el horno e imparten sabor directa e indirectamente. Este último fenómeno es debido a que la levadura produce un gran número de agentes saborizantes resultantes de la fermentación (Serna, 2001).

Levadura

La levadura (*Saccharomyces cereviceae*) es el agente fermentador, son organismos unicelulares, nucleados e inmóviles. La composición química de la levadura fresca es 70% de agua, 13.5% de proteína, 12% de carbohidratos solubles, 2% cenizas, 1.1% de grasa y 1.5% celulosa. Existen varios tipos de fermentos: fresco o húmedo, fresco-comprimido y seco.

La principal función de la levadura es producir CO₂ para provocar un esponjamiento y aumento de volumen de la masa. Esta producción de gas carbónico es debida a la fermentación de los azúcares sencillos (glucosa, fructosa, manosa y galactosa) produciendo también etanol y energía. Los productos intermedios de la fermentación alcohólica de los azúcares son los que dan el sabor típico al pan (Serna, 2001; Mesas y Alegre, 2002).

1.4.4.4 Etapas fundamentales para la elaboración del bagel

Amasado

Durante el amasado hay un cambio del estado natural de la materia prima pues todos los ingredientes se homogeneizan transformándose en un solo cuerpo llamado masa. Es en este proceso donde las proteínas de la harina se desnaturalizan debido a la aplicación de una fuerza mecánica formando la red de gluten que sostiene la estructura de la masa durante su esponjamiento en la fermentación.

La absorción de agua durante el amasado viene principalmente producida por las proteínas y por el almidón. Otro efecto producido en el amasado es el aumento de volumen, que es en un inicio debido a la incorporación de oxígeno y posteriormente a la incorporación de levadura, con lo que se puede dejar claro que durante el amasado ya existe una fermentación por lo que se recomienda tener una climatización en la zona de amasado o agregarla al final del proceso (Barriga, 2003; Mesas y Alegre, 2002).

Boleado

El boleado consiste en dar forma a una porción de masa previamente dividida. Cuando el proceso de elaboración incluye un reposo anterior, el propósito del rolado es remover el gas atrapado por el gluten y crean nuevos espacios minúsculos de aire que se traducen en la textura observada en la miga del producto terminado. En procesos en los que la

fermentación se realiza posterior al boleado, esta operación reorganiza el gluten optimizando la retención gaseosa (Mesas y Alegre, 2002)

Fermentación

El fundamento de la fermentación es producir un aumento en el volumen de la pieza, dar una textura fina y ligera y producir aromas. Este proceso inicia una vez que la masa y la levadura son hidratadas en presencia del sustrato adecuado (azúcar). Generalmente la fermentación se realiza a temperaturas de 26 a 32 °C bajo una atmósfera alta en humedad relativa (Serna, 2001). El aumento de volumen es debido a que la levadura transforma los azúcares en gas carbónico, ácidos y etanol. Este gas producto de la fermentación es retenido en la red de gluten formando las llamadas células. Posteriormente la levadura ataca la maltosa generada principalmente por la actividad de la malta diastásica y la acción enzimática de la harina convirtiéndola en gas carbónico que una vez desprendido también es atrapado en la red de gluten. La capacidad de retención del gas por parte del gluten va reduciéndose con el tiempo y su momento más crítico es en la entrada al horno. Por ello es tan importante mantenerlo con una buena capacidad de retención para obtener un volumen de pan adecuado (Barriga, 2003).

Hervido

Este paso tiene tres principales funciones:

- 1) Dar una apariencia brillante y gruesa, corteza crujiente. Este es el resultado de la gelatinización del almidón de la superficie del producto, que nos da la corteza.
- 2) Inactivar la levadura. Los bagels deben ser hervidos lo suficiente como para que la temperatura interna alcance los 160°C; en este punto, la fermentación por la levadura ha cesado.
- 3) Dar una palatabilidad (sensación), caracterizada por un bajo volumen y alta densidad, de una harina alta en gluten.

Si los bagels se expanden demasiado en el horno, esto significa que no fueron hervidos el tiempo suficiente, el nivel de levadura es demasiado alto, o ambas cosas. El tiempo de hervido generalmente es de 1 minuto por cada lado para un bagel de 85 gramos. Tiempos más altos serán requeridos para bagels de mayor peso. Después del hervido, es necesario un

corto periodo de reposo para que se seque. Si no se puede hervir el producto, se hace necesario hornear con vapor para formar la corteza (Lallemand, 1996).

Horneado

En el horneado, el pan se expone a altas temperaturas para finalizar su proceso de elaboración. Aunque la experiencia en cada proceso de panificación demuestran las mejores condiciones de tiempo y temperatura, normalmente el rango esta entre 180 y 250°C de 18 a 25 minutos (Serna, 2001).

Durante esta operación se presentan diversos fenómenos que transforman la masa fermentada en pan y es ahí cuando este alimento se convierte en digerible para el ser humano. Al inicio del horneado existe un aumento del volumen del pan debido al incremento de la presión del gas carbónico en el interior del mismo. A este aumento de volumen también contribuye el hinchamiento del almidón debido a la gelatinización que tiene inicio a 55°C. Es a esta misma temperatura donde se presenta la inactivación y muerte de las levaduras. Al aumentar la temperatura hasta los 85°C aproximadamente, el almidón pasa definitivamente del estado semilíquido o pastoso propio de la masa, al estado sólido propio de la miga. Paralelamente a la gelatinización del almidón se produce en el interior de la masa una coagulación del gluten y la evaporación del alcohol etílico que dan las características organolépticas a la miga (I.N.T.I., 2006).

Durante el horneado la humedad del interior del pan viaja al exterior, cuando este traslado cede, la superficie se seca y aumenta su temperatura lo que provoca la caramelización de los azúcares provenientes de la actividad enzimática formándose los sabores y colores característicos de la corteza del pan. La corteza de pan recién salida del horno es dura, pero se suaviza paulatinamente durante el enfriado debido a que la mayor humedad de la miga migra hacia el exterior para equilibrarse. Este fenómeno resulta en la rehidratación gradual de la costra (Barriga, 2003).

1.4.4.5 Composición química y valor nutritivo

El Bagel como se ha mencionado es un panecillo de grano entero que puede ser una opción de un excelente desayuno, este panecillo debe pesar al rededor de los 140 gramos o menos y debe hacer un crujiente sonido cuando lo mordemos. Los bagels deben ser

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

comidos tibios, e idealmente, no deberían estar a temperatura ambiente por más de 4 o 5 horas. Todo lo que no cumpla con esto, simplemente no son bagels (Solo panes, 2013).

La composición química promedio del bagel en base a lo indicado por Fatsecret (2013) se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Composición química del bagel de 120 g de base seca

Componente	(%)
Proteína	15
Lípidos	4.0
Fibra	3.7
Minerales	0.6
Hidratos de carbono	76.7

Fuente: Fatsecret, 2013

El valor nutrimental de un bagel se calculó del promedio de la información nutricional de los bagels simples de Einstein Bros, Dunkin Donuts, Panera Bread entre otros que son algunos restaurantes de comida rápida en Estados Unidos que ofrecen una variedad de bagel con diferentes tipos de harinas (Tabla 10), además de que como cualquier otro pan, el bagel se puede cortar a la mitad y rellenar con cualquier tipo de ingredientes tales como carne, vegetales, queso, crema y otros que sean de la preferencia del consumidor.

Tabla 10. Composición Química de diferentes tipos de bagels de 100 g de base seca

	Grasas (g)	Proteínas (g)	Carbohidratos (g)	Calorias (kcal)
Bagel de trigo	4.0	15	81	286
Bagel multigrano	4.0	17	79	259
Bagel integral	5.0	15	80	264

Fuente: Fatsecret, 2013

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Con base en la información anterior, se puede decir que el Bagel es un producto novedoso y versátil, por que puede ser dulce o salado, y consumirse sólo o con alimento en medio como una torta; pero como se elabora tradicionalmente con harina de trigo su calidad nutrimental es baja. Por otra parte como ya se explicó, el amaranto tiene una mayor calidad nutrimental que puede aprovecharse para complementar el aporte nutrimental de harinas de trigo. Es por eso que en el presente trabajo se ha planteado la elaboración de un Bagel a base de trigo y complementado con amaranto para mejorar su calidad nutrimental.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar una formulación a base de trigo y amaranto para la elaboración de un bagel con mejor calidad nutrimental que uno comercial sin alterar sus características sensoriales.

Objetivo particular 1

Evaluar diferentes formulaciones de mezclas de harinas de amaranto y trigo para la elaboración de bagels mediante características físicas (peso, volumen y tamaño) y sensoriales (prueba de preferencia) para seleccionar la mejor.

Objetivo particular 2

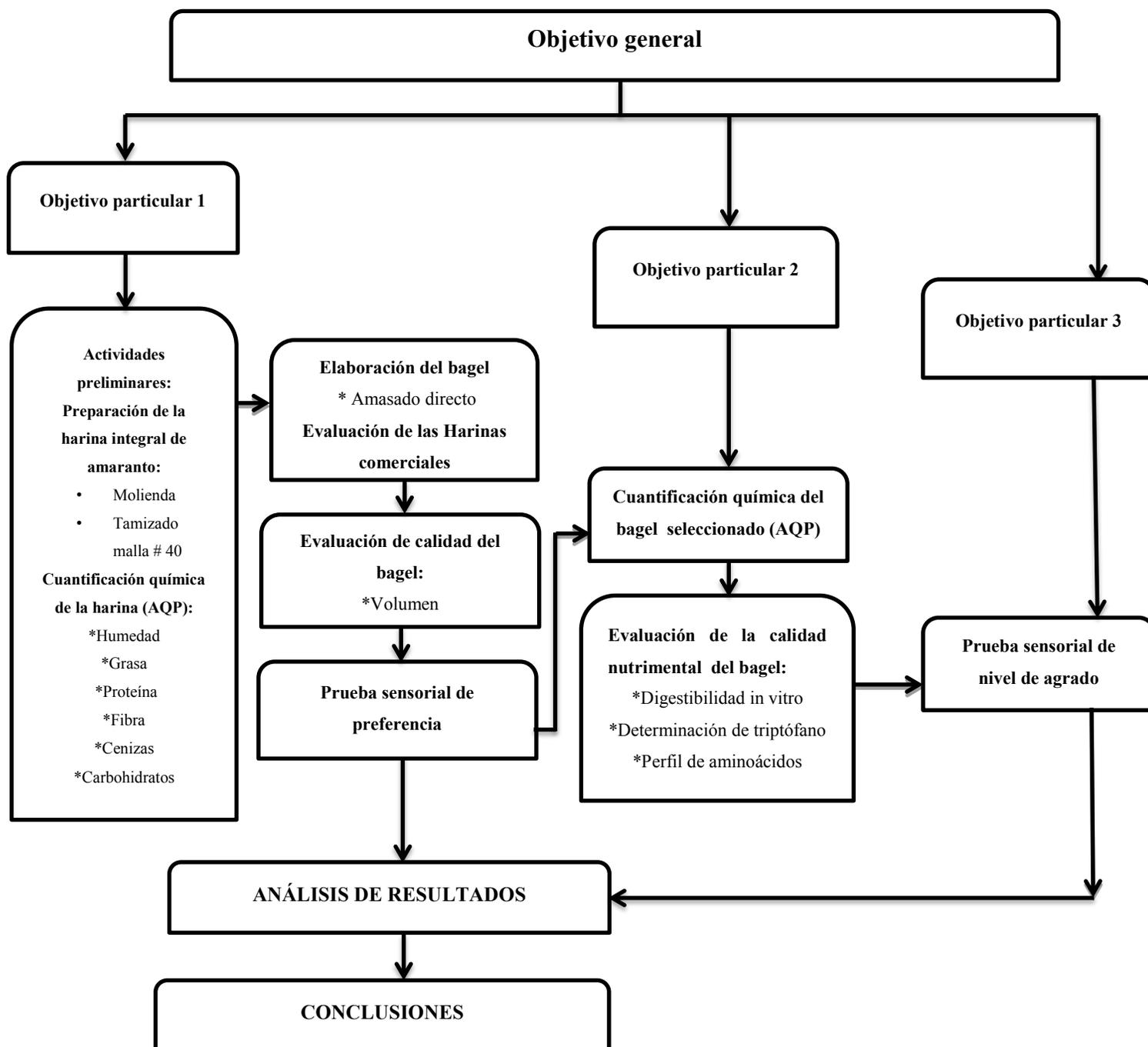
Evaluar la calidad nutrimental del bagel elaborado con la mejor formulación seleccionada mediante su análisis químico, cuantificación de aminoácidos y digestibilidad *in vitro*, para comparar el incremento con respecto a uno comercial.

Objetivo particular 3

Determinar el grado de aceptación por parte del consumidor del bagel elaborado con la mejor formulación mediante una prueba sensorial de nivel de agrado.

2.2 METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.2.1 Cuadro metodológico



2.2.2 Preparación de la harina integral de amaranto.

2.2.2.1 Material biológico

Se trabajó con granos de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) cosecha 2010, variedad Tulyehualco y harina de trigo marca Tres estrellas®.

El amaranto se limpió de cualquier materia extraña (paja, metales, basura) y por medio de un molino de cuchillas Thomas-Wiley se realizó la molienda del grano de amaranto, posteriormente fue sometido a un tamizado con la malla # 40 USA serie Tyler, esta harina que pasó a través de la malla 40 fue empleada para el análisis y elaboración del producto (figura 13).

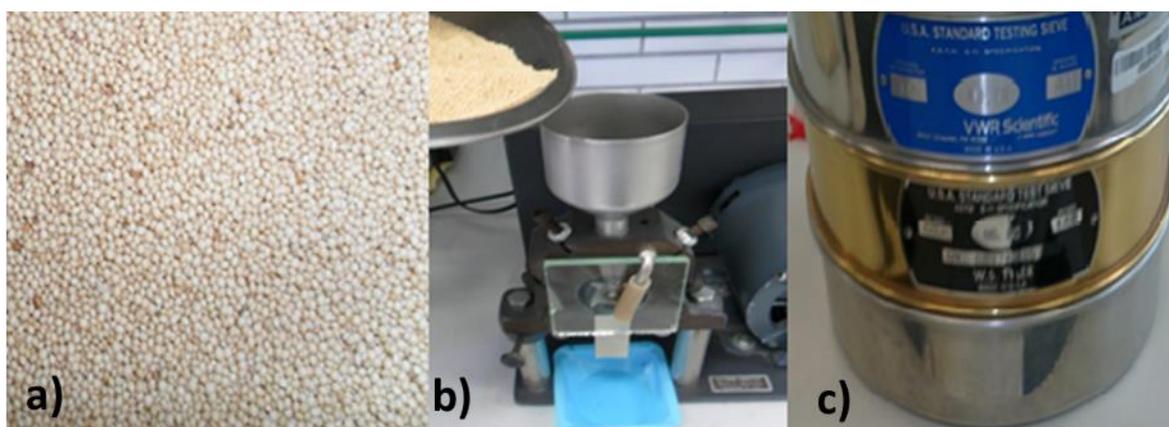


Figura 13. Preparación de la harina integral de amaranto a) Amaranto, b) Molino, c) Tamices.

2.2.3 Análisis Químico Proximal de la materia prima

Se realizó el análisis químico de las materias primas: Harina integral de amaranto y Harina de trigo (Tres estrellas®) y las pruebas fueron; humedad, extracto etéreo, proteína, cenizas y carbohidratos, de acuerdo a los métodos propuestos por el A.O.A.C. (1995).

2.2.3.1 Determinación de Humedad

La prueba fue realizada por el método de secado por estufa, el cual se basa en la eliminación del agua por efecto del calor aplicado a la muestra. Se calculó el contenido de humedad, por la pérdida de peso en la muestra debida a la evaporación del agua por calentamiento a 103 °C hasta peso constante. El resultado se expresó como porcentaje de humedad empleando la ecuación 1.

$$\%H = [(W_2 - W_3) / W_1] * 100 \dots \dots \dots \text{Ec.1}$$

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)

2.2.3.2 Determinación de Extracto etéreo

El contenido de grasa se determinó por el método Soxhlet, el cual se basa en la solubilidad de las grasas en compuestos no polares como el éter etílico, a partir de muestras libres de humedad. El solvente se elimina por evaporación quedando solo el residuo de grasa. El resultado se expresó como porcentaje de grasa extraíble y se calculo con la ecuación 2.

$$\% \text{ Grasa extraíble} = [(W_3 - W_2) / W_1] * 100 \dots \dots \dots \text{Ec.2}$$

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso de la muestra húmeda (g)

W_3 = Peso de la muestra seca (g)

2.2.3.3 Determinación de proteína

Por medio del método micro-Kjeldahl se determinó proteína. Este método se basa en la combustión húmeda de la muestra, el producto se digiere con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores metálicos para convertir el nitrógeno orgánico en iones de amonio. A la solución de la digestión se le añade álcali y se destila hacia una solución de

ácido bórico. El destilado se titula con ácido clorhídrico. El resultado se expresó como porcentaje de proteína empleando la ecuación 3.

$$\% \text{Proteína cruda} = \text{Nitrógeno total} * (F) \dots \text{Ec.3}$$

$$\text{Nitrógeno total} = [(V_2 - V_1) (N) (0.014) / W] * 100$$

Donde:

V_1 = Volumen del HCl (0.1N) gastado en la muestra (ml)

V_2 = Volumen del HCl (0.1N) gastado en el blanco (ml)

N = Normalidad del HCl (0.1N)

W = Peso de la muestra (g)

F* = Factor de conversión de nitrógeno a proteína

*(Trigo: 5.7 y Amaranto: 5.87)

2.2.3.4 Determinación de cenizas

El contenido de cenizas totales se determinó mediante la obtención del residuo inorgánico resultante de la calcinación e incineración de la materia orgánica a 530 °C. El resultado se expresó como porcentaje de cenizas totales, empleando la ecuación 4.

$$\% \text{ Cenizas totales} = [(W_3 - W_2) / W_1] * 100 \dots \text{Ec.4}$$

Donde:

W_1 = Peso de la muestra (g)

W_2 = Peso del crisol sin muestra (g)

W_3 = Peso del crisol con las cenizas (g)

2.2.3.5 Determinación de fibra cruda

El método consiste en someter la muestra seca y desengrasada a una primera digestión ácida, posteriormente a una segunda alcalina obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda utilizando la ecuación 5.

$$\% \text{ Fibra cruda} = [(W_2 - W_1) - (W_4 - W_3) / W_s] * 100 \dots \text{Ec.5}$$

Donde:

W_1 = Peso del papel filtro a 130 °C (g)

W_2 = Peso del papel filtro con residuos secos a 130° (g)

W_3 = Peso del crisol vacío (g)

W_4 = Peso del crisol después de la incineración (g)

W_s = Peso de la muestra previamente desengrasada (g)

2.2.3.6 Determinación de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

2.2.4 Elaboración del Bagel

Se prepararon 120g de mezclas de harinas para los bagels de acuerdo a las formulaciones propuestas (Tabla 11).

Tabla 11. Formulaciones propuestas de mezclas de harina de trigo y amaranto.

Formulación	1	2	3	4	5	6
Harina de trigo (%)	100	0	40	50	30	20
Harina de amaranto (%)	0	100	60	50	60	70
Gluten (%)	0	0	0	0	10	10

H.A= Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo y G= Gluten

Para la elaboración del Bagel se empleo el proceso de panificación de amasado directo ya que los ingredientes se mezclan juntos de una sola vez y se dejan fermentar en diferentes periodos cortos.

Se pesaron todos los ingredientes secos (sal, levadura, polvo para hornear, gluten vital, azúcar, harina de trigo y harina de amaranto) se mezclaron por 2 minutos, se adicionó agua a una temperatura de 30°C y aceite, se amasó durante 15 minutos. La masa homogénea se dejó fermentar en una cámara por 1 hora a una humedad relativa de 45% y temperatura de 25°C, una vez pasada esta hora se volvió a amasar por un tiempo de 10 minutos, posteriormente se le dió la forma del bagel con ayuda de un molde y se vuelve a meter a la cámara de fermentación a las mismas condiciones ya mencionadas pero ahora por un tiempo de 30 minutos. Una vez concluida esta fermentación, se calentó agua a una temperatura de 90°C, se le agregó azúcar y se sumerge la masa del bagel por un tiempo de 2 minutos, se dejó escurrir 2 minutos, se decoró y se horneó a una temperatura de 160°C por 30 minutos, se sacó del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente y se obtuvo el Bagel. El diagrama de proceso se muestra en la figura 14.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

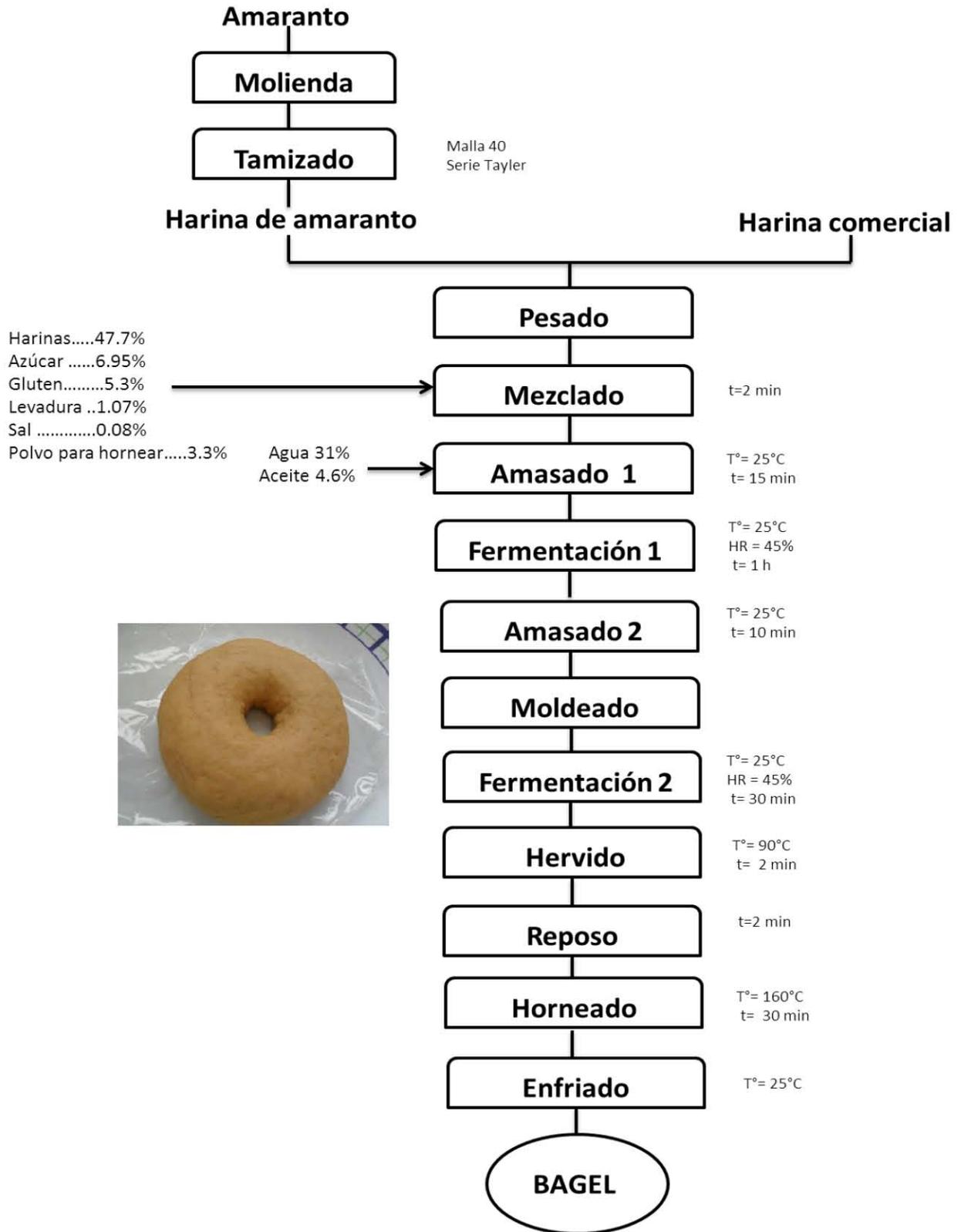


Figura 14. Diagrama de proceso de elaboración del Bagel a base de trigo y amaranto.

2.2.5 Parámetros de calidad física del Bagel

Para determinar la calidad física del bagel se realizaron las siguientes pruebas: peso del bagel y volumen (Cortes, 2011).

2.2.5.1 Peso del Bagel

Se realizó la determinación usando una balanza digital de lectura directa.

2.2.5.2 Volumen

La determinación de volumen es por desplazamiento de semillas de colza. En la figura 15 se muestra el equipo de medición del volumen, el bagel se colocó en un recipiente con tapa que esta en la parte superior y se giró 180° y en el recipiente del otro extremo caen por gravedad semillas de nabo, las cuales, llenan el recipiente donde está el bagel, pero una parte de las semillas queda fuera y su volumen se mide directamente en una probeta que esta uniendo a los dos recipientes; este volumen medio es el del bagel.



Figura 15. Equipo para medir el volumen del Bagel (Medidor de pan)

2.2.6 Evaluación sensorial (Prueba de preferencia)

A los bagels, elaborados con las formulaciones (40% H.A-60% H.T, 50% H.A-50% H.T, 60% H.A-30% H.T-10% G, 70% H.A-20% H.T-10% G) se les realizó una prueba sensorial de preferencia (Pedrero y Pangbord, 1989); la cual fue aplicada a 95 jueces no entrenados, con muestras codificadas, a quienes se les dio a probar las cuatro formulaciones diferentes y se les pidió que calificaran cada muestra con base en un cuestionario (Anexo 1).

2.2.7 Análisis Químico Proximal del producto

Para evaluar la calidad de los componentes químicos del bagel seleccionado mediante la prueba sensorial de preferencia se realizó su análisis químico proximal, de acuerdo a los métodos propuestos por la A.O.A.C. (1995) como ya se explicó antes, se compararon con un producto comercial y un control elaborado en el laboratorio.

2.2.8 Evaluación de la calidad nutrimental del bagel seleccionado.

2.2.8.1 Digestibilidad *in vitro*

Se determinó la cantidad de nitrógeno total (micro Kjeldhal), se diluyó a una concentración de 5.25 mg/ml (50 ml totales). La solución se ajustó a un pH de 8 con ácido clorhídrico 0.1N y se agitó en un baño de agua caliente a 37°C. Paralelamente se preparó una solución multienzimática (tripsina, quimiotripsina y peptidasa) se ajustó el pH a 8 y se conservó en hielo hasta que terminó el experimento. A la suspensión se le agregó 5 ml de solución multienzimática y se mantuvo la agitación y la temperatura, midiendo la caída de pH después de 20 min (Hsu *et al.*, 1977).

2.2.8.2 Cuantificación de triptófano

Para cuantificar el triptófano, se hizo una hidrólisis enzimática y se desarrolló color con ρ -dimetilaminobenzaldehído (DMAB) y nitrito de sodio como concentrante. Para su preparación se pesó 1.0 g de muestra, se le agregó 10 ml de pepsina y se incubó a temperatura ambiente, enseguida se le adicionó 10 ml de NaOH 0.1N y 10 ml de pancreatina y se incubó por 24 horas, después se aforó con agua destilada. Después se tomaron 2 ml y se le adicionó 7.5 ml de HCl concentrado y de DMAB así como 0.5 ml de

NaNO₂ y se dejó reposar por 15 minutos y se tomó la lectura a $\lambda = 590$ en un espectrofotómetro Jenway-Génova (Arrizon-López *et al.*, 1987).

2.2.8.3 Perfil de aminoácidos

Para obtener los aminoácidos libres se realizó una hidrólisis ácida en fase de vapor (HCl 6N, 0.1% de fenol), para incrementar el rendimiento del proceso de hidrólisis. La cuantificación de los aminoácidos se realizó por Cromatografía de Líquidos de Alta Resolución (Vásquez-Ortiz *et al.*, 1995).

2.2.9 Evaluación sensorial (Nivel de agrado)

Esta prueba se aplicó al bagel elaborado con la mejor formulación escogida previamente. Consistió en la evaluación del grado de aceptación o rechazo hacia el producto, en base a sus características como son sabor, color y textura (Pedrero y Pangbord, 1989). Los datos fueron reportados en cuestionarios donde se muestra una escala no estructurada, también llamada hedónica (Anexo 2).

2.2.10 Método estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado, obteniéndose promedio, desviación estándar y coeficiente de variación. Para las pruebas sensoriales, se calculó la frecuencia y la media y se realizó la comparación de medias por la prueba de rango múltiple t-student con el programa estadístico Origin V. 4.0

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 EVALUACIÓN DE DIFERENTES HARINAS COMERCIALES.

Debido a que no hay una marca comercial de harina de trigo especial para la elaboración de bagel, se tuvo que evaluar a diferentes harinas comerciales que son usadas para elaboración de pan blanco, bolillo y telera, ya que estos productos tienen características sensoriales, físicas y de textura similares a la de los bagels. Para la selección de la mejor harina, se elaboraron bagels con ellas y se cuantificaron sus propiedades físicas, tanto a la masa cruda como al producto ya horneado, comparándose con un bagel comercial. Los resultados (tabla 12) mostraron que la harina de la marca tres estrellas fue la mejor para la elaboración de los bagels. Como se puede observar sus características físicas, principalmente el diámetro externo (DE) y el volumen (V) fueron estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) al bagel comercial, además presentó un mayor espesor (E) en comparación a las demás harinas, todas estas características después del horneado.

Tabla 12. Características físicas de Bagels elaborados con diferentes harinas comerciales.

Tamaño promedio (cm)							
Harinas	Antes-horneo			Después-horneo			
	♦DE	♦DI	♦E	DE	DI	E	♦V(cm ³)
Bagel comercial	-	-	-	11.4 ^a	1.8 ^a	3.0 ^a	370 ^a
San Blas	7.8 ^{a*}	1.78 ^a	3.06 ^a	9.95 ^a	0.87 ^b	3.7 ^b	350 ^b
Selecta	8.12 ^a	1.56 ^a	3.11 ^a	9.97 ^a	0.0 ^c	3.93 ^b	360 ^a
Soriana	8.87 ^b	2.45 ^b	3.78 ^b	11.51 ^a	1.48 ^a	3.45 ^a	350 ^b
Tres estrellas	8.87^b	1.85^a	4.2^b	11.18^a	0.44^d	4.21^c	380^a

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

♦Espesor (E), Diámetro interno (DI), Diámetro externo (DE) y Volumen (V).

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

La importancia de haber medido el diámetro interno (DI) y el externo (DE), es por que comercialmente los bagels deben de ser anchos y con diámetro interno, llamado comúnmente agujero (Solo panes, 2013); además el volumen (V) del bagel es de vital importancia junto con el espesor (E), ya que el bagel no puede ser un pan con bajo volumen ni espesor, debido a que generalmente se consume acompañado de otro alimento en medio como una torta (Lallemand, 1996). En la figura 16 se muestran los bagels elaborados con las diferentes harinas comerciales, se puede observar que con la harina de la marca Tres estrellas® se obtiene un producto con mejores características sensoriales como color y textura además del mayor volumen y espesor como se mencionó antes, por lo tanto se decidió que la mejor harina fue la marca tres estrellas. Por último, es importante precisar que el bagel no es una dona, es un producto totalmente diferente.

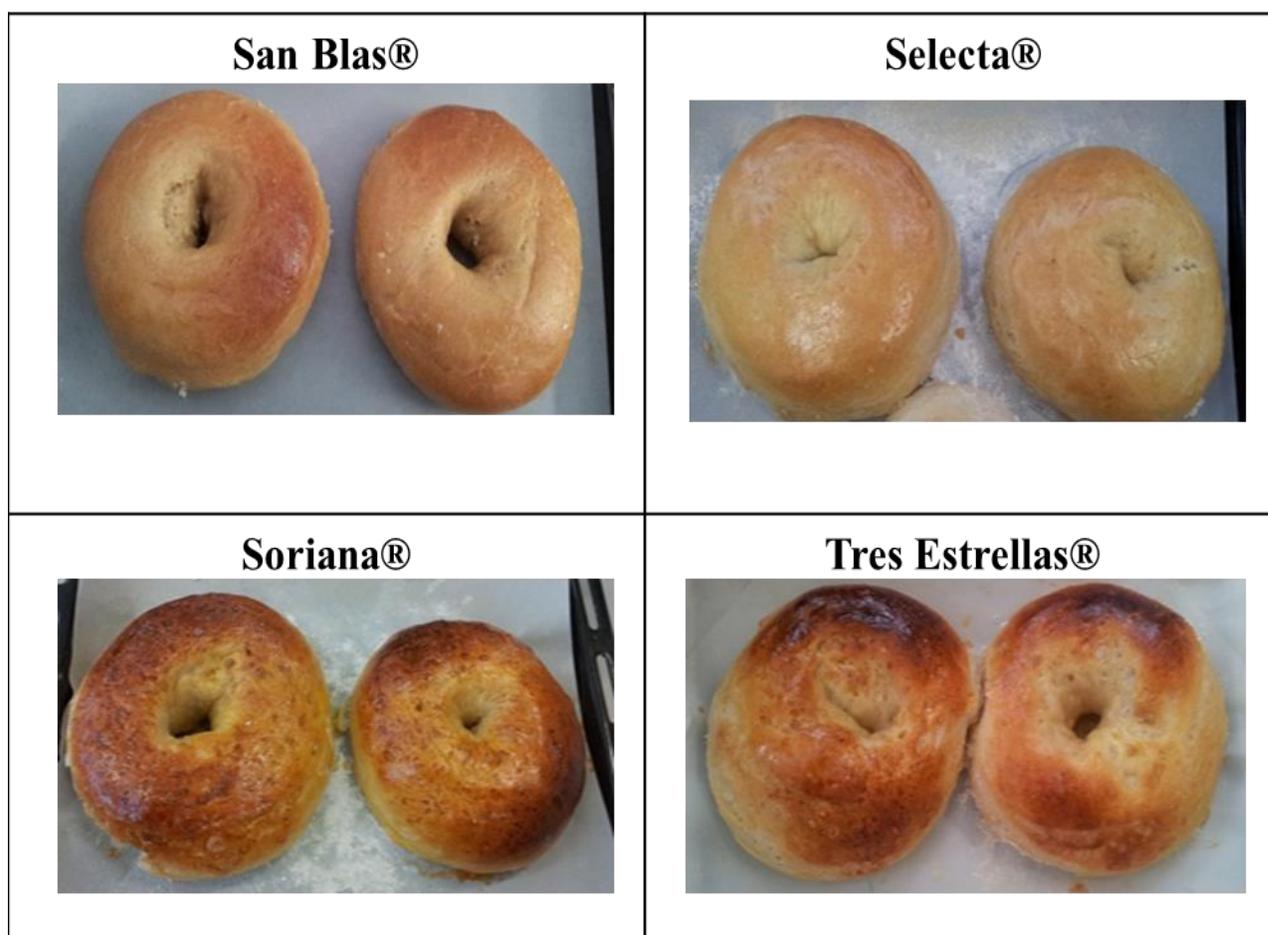


Figura 16. Bagels elaborados con las diferentes harinas comerciales de trigo.

3.2 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA MATERIA PRIMA

Se evaluó la composición química de las materias primas; la harina comercial seleccionada Tres estrellas® y la harina integral de amaranto, para compararlas y conocer si podrían complementarse. Este análisis mostró que la harina integral de amaranto tiene casi el doble de proteína que la harina de trigo (tabla 13), lo cual es importante porque se ha reportado que la harina de amaranto posee un buen balance de aminoácidos esenciales que cumple con los requisitos recomendados para una óptima nutrición humana (San Miguel, 2013). También tiene casi cinco veces más de grasa, la cual es de buena calidad por que esta compuesta por ácidos grasos esenciales como el oleico y el linoleico además de tener escualeno lípido que tiene efectos benéficos a la salud, tales como la disminución del riesgo de varios tipos de cáncer y en la reducción de los niveles de colesterol en sangre (Berger *et al.*, 2003). En cuanto a las cenizas, a pesar de que se obtuvieron porcentajes estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$), se sabe que una de las ventajas de la harina integral de amaranto es que presenta un alto contenido de calcio y hierro que cubre la dosis diaria recomendada porque aporta lo mismo o más que un vaso de leche (Contreras *et al.*, 2010), además tuvo mayor cantidad de fibra y menor contenido de carbohidratos. Estos resultados confirman que el amaranto es óptimo para complementar la calidad nutricional de otras semillas como es el caso específico del trigo, que es un cereal deficiente en algunos aminoácidos esenciales como es el caso de la lisina, así como también en grasa y minerales.

Tabla 13. Análisis químico proximal de la harina de trigo y de la harina integral de amaranto usada como materia prima.

HARINA	HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)	GRASA (%)	FIBRA (%)	CENIZAS (%)	CHOS (%)
TRIGO (Tres estrellas®)	11.28 ± 0.06 ^{a*}	8.94 ± 0.09 ^{a ♠}	1.43 ± 0.01 ^a	1.9 ± 0.07 ^a	2.49 ± 0.22 ^a	73.96 ^a
AMARANTO	8.63 ± 0.1 ^b	16.39 ± 0.04 ^{b ♣}	7.24 ± 0.68 ^b	6.56 ± 0.62 ^b	2.67 ± 0.11 ^a	57.51 ^b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

♠ Nx5.83, ♣ Nx5.87

3.3 ELABORACIÓN DEL BAGEL.

3.3.1 Pruebas de calidad física

Para la elaboración del bagel se usó el método de panificación directa y se propusieron diferentes formulaciones, preparadas a base de harina de amaranto (H.A.) y harina de trigo (H.T.), junto con el resto de los ingredientes indicados en la tabla 14 (Dyner *et al.*, 2007).

Tabla 14. Formulaciones evaluadas para la elaboración de los bagels.

Ingredientes	Formulaciones (%)					
	100% H.T	100% H.A	40% H.A 60% H.T	50% H.A 50% H.T	60% H.A 30% H.T 10% G	70% H.A 20% H.T 10% G
HT	53	-	31.8	26.5	15.9	10.6
HA	-	53	21.2	26.5	31.8	37.1
Gluten	-	-	-	-	5.3	5.3
Agua	31					
Azúcar	6.95					
Aceite	4.6					
Levadura	1.07					
Sal	0.08					
PH	3.3					

H.A= Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo, G= Gluten y PH= polvo para hornear

En esta tabla se observa que todos los ingredientes básicos (azúcar, sal, agua, levadura, aceite y polvo para hornear) fueron agregados en los mismos porcentajes en todas las formulaciones, porque lo que se quería variar era solo el porcentaje de harina de amaranto. Primero se elaboró un bagel con 100% de harina de trigo que se usó como referencia o control. Después se intentó elaborar un bagel con 100% harina de amaranto (figura 17).

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

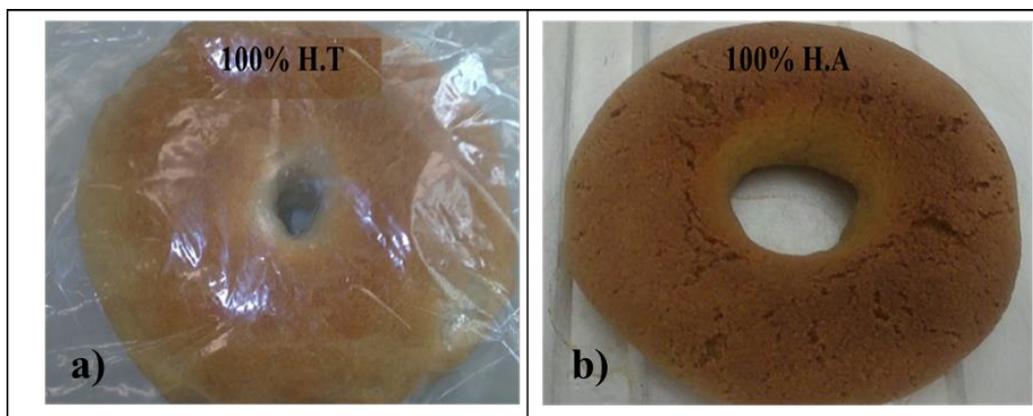


Figura 17. Bagels elaborados con 100% de harina de trigo (a) y 100% de harina de amaranto (b).

Se observó que el bagel con 100% de harina de amaranto no alcanzó las características físicas del bagel control (tabla 15). Todas las características físicas evaluadas presentaron valores menores y estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$), a excepción del peso donde no hubo variación. En el caso del volumen y el espesor, el bagel con 100% de harina de amaranto fue casi la mitad con respecto al control y esto no es bueno para un bagel ya que la principal característica es que tenga alto volumen y espesor para que se pueda preparar acompañado de otro alimento en medio como una torta. Estos resultados seguramente se deben a que el amaranto no tiene gluten y por eso se obtuvo una masa con menor firmeza y mayor pegajosidad, lo que provocó agrietamiento y daño sensorial al producto final, por todas estas razones se descartó trabajar con amaranto al 100%.

Tabla 15. Características físicas de los bagels elaborados con 100% de harina de trigo (H.T) y 100% de harina de amaranto (H.A).

Formulaciones	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Longitudes (cm)		
			DE	DI	E
100% H.T	350 ^{a*}	131 ^a	11.4 ^a	1.5 ^a	3.5 ^a
100% H.A	200 ^b	127 ^a	9.5 ^b	3.4 ^b	2.8 ^b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

♦Espesor (E), Diámetro interno (DI), Diámetro externo (DE)

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

También se trabajó con formulaciones con 80 y 90% de harina de amaranto (figura 18), pero se descartaron, porque a pesar de que ya contenían harina de trigo, fue muy difícil la formación de la masa pues era muy pegajosa y difícil de manipular. El producto horneado también presentó agrietamiento y una caramelización muy marcada en la superficie de la masa, dando un color muy oscuro y desagradable, además no aumentaron su volumen ni espesor y fueron muy anchos y aplastados (figura 18), por lo tanto, también se descartaron estas dos formulaciones.



Figura 18. Bagels elaborados con 90 y 80 % de harina de amaranto (H.A)

Después se procedió a la elaboración de los bagels con el resto de las formulaciones propuestas (tabla 14). Se observó, que entre más contenido de amaranto tenía el bagel, su volumen disminuía, seguramente debido a que el amaranto no contiene gluten (Morales *et al.*, 2009) y por ello disminuyó también el espesor y el diámetro interno sobre todo en los bagels elaborados con 70 y 60% de amaranto. Por esta razón, se decidió agregarles a estas dos formulaciones gluten vital, con la finalidad de alcanzar las características físicas deseadas y mejorar su calidad nutricional, porque ha mayor contenido de amaranto mejor calidad nutricional.

Por lo tanto, se prepararon bagels con las siguientes formulaciones: 40% H.A- 60% H.T, 50% H.A-50% H.T, 60% H.A-30% H.T-10 G%, 70% H.A-20% H.T-10% G.

Los resultados indicaron que, la adición de gluten vital (G) a las formulaciones con más amaranto, si mejoró su apariencia (Figura 19) además de sus características físicas (tabla 16).

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO



Figura 19. Bagels elaborados con cuatro diferentes formulaciones: a) 40% H.A-60% H.T, b) 50% H.A-50% H.T, c) 60% H.A-30% H.T-10% G, d) 70% H.A-20% H.T-10% G

Los resultados mostraron que el diámetro interno y externo así como el peso y el espesor de los bagels elaborados con amaranto no tuvieron diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) con el control (tabla 16). En cuanto al volumen, aunque los bagels elaborados con gluten fueron diferentes al control, estos mejoraron considerablemente porque el gluten ayuda a la formación de la red responsable de atrapar el dióxido de carbono liberado durante la fermentación y permitió el hinchamiento de la masa (Vagilia, 1991) a un grado aceptable. Además, se debe considerar la ventaja nutrimental de tener mayor porcentaje de amaranto. Por otra parte, las formulaciones sin gluten también tuvieron buenas características físicas y estadísticamente iguales al control. Por lo tanto, con los resultados de estas pruebas no se tenía evidencia suficiente para escoger la mejor formulación.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Tabla 16. Características físicas de los bagels elaborados con cuatro porciones diferentes de harinas de amaranto.

Formulaciones	Volumen (cm ³)	Peso (g)	Longitudes (cm)		
			DE	DI	E
100% H.T	350 ^{a*}	131 ^a	11.4 ^a	1.5 ^a	3.5 ^a
40% H.A 60% H.T	350 ^a	142 ^a	12.2 ^a	1.7 ^a	3.5 ^a
50% H.A 50% H.T	330 ^a	142 ^a	12.4 ^a	1.5 ^a	3.4 ^a
60% H.A 30% H.T 10% G	240 ^b	140 ^a	11.7 ^a	1.7 ^a	2.8 ^b
70% H.A 20% H.T 10% G	260 ^b	147 ^b	11 ^a	1.8 ^a	3.2 ^{ab}

H.A= Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo, G= Gluten

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Por esta razón, para escoger la mejor formulación de las cuatro mencionadas, estas se sometieron a una prueba sensorial de preferencia.

3.4 EVALUACIÓN SENSORIAL (Prueba de preferencia)

Para esta prueba se emplearon muestras de bagel (figura 20) de las formulaciones propuestas en la tabla 16 con excepción del bagel con 100% de harina de trigo. La prueba se aplicó a 95 jueces no entrenados aplicando el cuestionario mostrado en el anexo 1.



Figura 20. Bagels en trozos de las cuatro formulaciones propuestas listos para ser evaluados sensorialmente por jueces no entrenados.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

En la tabla 17 se muestran los resultados para cada formulación. Se puede observar que la puntuación obtenida por las formulaciones 50% H.A-50% H.T y 60% H.A-30% H.T-10 G son estadísticamente iguales ($P \leq 0.05$) y que la de 40% H.A- 60% H.T fue la de menor preferencia. También se observa que la que más gustó fue la de 70% H.A- 20% H.T-10% G por que tuvo el mayor porcentaje de preferencia y fue estadísticamente diferente a las otras formulaciones.

Tabla 17. Resultados de la prueba sensorial de preferencia aplicada a los bagels elaborados con las diferentes formulaciones.

Formulaciones	Puntuación	Numero de jueces que asignaron la puntuación mas elevada
40% H.A- 60% H.T	209 ^{a*}	20
50% H.A- 50% H.T	243 ^b	21
60% H.A- 30% H.T-10% G	244 ^b	22
70% H.A- 20% H.T-10% G	257 ^c	32

H.A= Harina de amaranto, H.T= Harina de trigo, G= Gluten

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

En la figura 21 se muestran algunos de los descriptores que más resaltaron los jueces de la formulación seleccionada, se observa que la mayoría de los jueces mencionó que el bagel sí sabía a amaranto, que tenía buen sabor, buena textura, sabor dulce. Con estos resultados y los obtenidos de las características físicas de los bagels se puede concluir que la formulación: 70% H.A- 20% H.T-10% G fue la mejor.

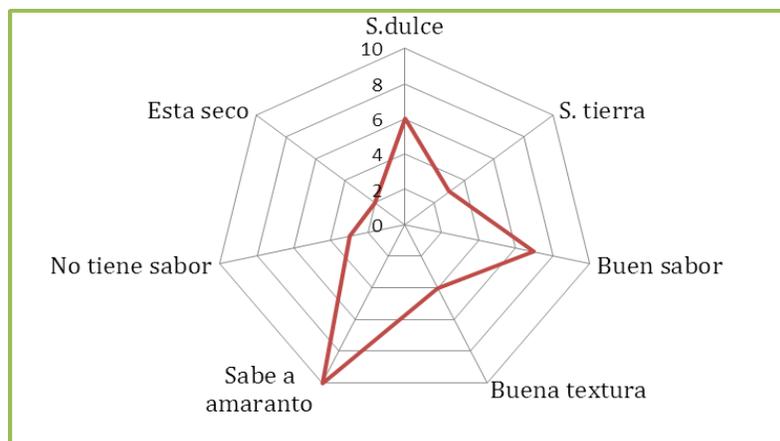


Figura. 21 Descriptores indicados por lo jueces de la formulación seleccionada.

3.5 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DEL PRODUCTO

Una vez seleccionada la mejor formulación en base a la prueba sensorial de preferencia y sus propiedades físicas y de textura, se determinó la composición química de este bagel, el comercial y un control, este último elaborado con harina de trigo Tres estrellas®.

Tabla 18. Análisis químico proximal de los Bagels comercial, control y el elaborado con 70% H.A-20 H.T-10 G.

BAGEL	HUMEDAD (%)	PROTEINA (%)	GRASA (%)	FIBRA (%)	CENIZAS (%)	CHOS (%)
COMERCIAL	5.05 ± 0.02 ^{a*}	9.2 ± 0.37 ^a ♠	0.48 ± 0.02 ^a	2.30 ± 0.03 ^a	2.43 ± 0.06 ^a	80.54 ^a
CONTROL	5.17 ± 0.01 ^a	8.76 ± 0.31 ^a ♠	2.96 ± 0.12 ^b	2.11 ± 0.01 ^a	2.49 ± 0.22 ^a	78.51 ^a
70 H.A/ 20 H.T-10 G	3.72 ± 0.16 ^b	17.65 ± 0.54 ^b ♣	8.90 ± 0.0 ^c	6.77 ± 0.38 ^b	4.23 ± 0.02 ^b	58.73 ^b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05)

♠ Nx5.83, ♣ Nx5.87

Los resultados de la tabla 18 muestran que el bagel con amaranto presentó un considerable incremento (mas del doble) en el porcentaje de proteína en comparación con los dos bagels de trigo, esta proteína que se obtuvo se verá mas adelante si es de buena calidad con las pruebas de digestibilidad *in vitro* y el perfil de aminoácidos. El contenido de grasa, también fue mayor en comparación al comercial y al control, esto es benéfico para el consumidor por la calidad de los ácidos grasos contenidos en el amaranto como el ácido oleico y linoleico, además de la cantidad importante de escualeno que contiene esta grasa, la cual actúa como un intermediario en la biosíntesis del colesterol y además tiene propiedades antioxidantes (Berger *et al.*, 2003; Becerra, 2000). En cuanto al contenido de fibra tuvo mayor contenido en comparación con el comercial y el control, esto es importante por que la fibra, además de captar agua, es capaz de disminuir y ralentizar la absorción de grasas y azúcares de los alimentos (índice glicémico) lo que contribuye a regular los niveles de colesterol y de glucosa en sangre y acelerar el tránsito intestinal (Bressani, 1989; Belitz, 1997). Además, se tuvo mayor contenido de cenizas y menor cantidad de carbohidratos

debido al alto porcentaje de proteína. Es por eso que podemos decir que el bagel con amaranto tiene mayor cantidad de nutrientes que los bagels de trigo, tanto el control como el comercial.

3.6 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRIMENTAL DEL BAGEL SELECCIONADO.

3.6.1 Digestibilidad *in vitro*

El haber determinado la digestibilidad *in vitro* de las proteínas tanto a la harina de amaranto como a los dos bagels fue para poder predecir que porcentaje de estas va a ser aprovechada por el organismo es decir el valor biológico (Suárez *et al.*, 2006). El resultado de esta prueba (tabla 19) mostró que el bagel de amaranto tuvo la mayor digestibilidad comparado con el control y la harina cruda de amaranto. Debido a que durante el horneado se desnaturalizan las proteínas a causa del tratamiento térmico, haciendo de esta manera que sean más digeribles y que se hidrolicen mas fácilmente por las enzimas digestivas, lo que es bueno ya que no se producen derivados tóxicos y mejora su calidad nutricional (Fenema, 1985).

Tabla 19. Digestibilidad *in vitro* de harina de amaranto, bagel control y la formulación seleccionada.

Muestra	Digestibilidad %
Harina de amaranto	80.06 ^{a*}
Bagel control	81.88 ^a ± 0.844
Bagel seleccionado (70% H.A 20% H.T 10% G)	85.035 ^a ± 0.265

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (P≤0.05)

3.6.2 Cuantificación de triptófano

Los resultados del análisis del triptófano se muestran en la tabla 20, donde se observa que el bagel control presenta un menor contenido de triptófano en comparación con el bagel de amaranto y que la diferencia es estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$), debido a que está elaborado con trigo el cual es deficiente de este aminoácido.

Tabla 20. Contenido de triptófano del bagel control y el seleccionado.

Muestra	gtry/ 100g de proteína
Bagel control	0.70 ^{a*} \pm 0.001
Bagel seleccionado (70% H.A 20% H.T 10% G)	1.02 ^b \pm 0.016

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

La importancia de haber medido el contenido de triptófano fue por que es importante comprobar si tolera la operación del horneado, por que al ser un aminoácido sensible al calor puede servir como indicador y sí este tolera el calentamiento seguramente los otros aminoácidos esenciales no serán afectados.

El triptófano es un aminoácido esencial importante para la estructura y función de las proteínas debido a que participa en la producción de neurotransmisores como la serotonina que da la sensación de felicidad, mantiene el sistema inmune en óptimas condiciones y es necesario para la producción de vitamina B3, inhibe el dolor y ayuda a mantener un peso corporal saludable y equilibra el consumo de hidratos de carbono (Belitz, 1997).

3.6.3 Perfil de aminoácidos

Como se ha venido mencionando el amaranto a diferencia de otros cereales como el trigo, ha presentado mayor porcentaje de proteína, lo cual se demostró experimentalmente mediante el análisis químico proximal; por lo que se procedió a llevar a cabo un análisis del perfil de aminoácidos de la formulación (70% H.A-20% H.T-10% G) y del bagel de trigo

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

para verificar su calidad nutricional. En la tabla 21 se muestran los resultados de la cuantificación de los aminoácidos

Tabla 21. Composición de aminoácidos del bagel control y de amaranto (g aminoácidos/ 100g proteína).

Aminoácidos	Bagel de Trigo	Bagel seleccionado (70:20:10)
Aspártico	3.11 ^{a*}	5.77 ^b
Glutámico	23.89 ^a	22.70 ^a
Serina♦	1.97^a	4.26^b
Histidina♦	1.51^a	2.26^b
Glicina	1.05 ^a	2.59 ^b
Treonina♦	4.03^a	8.80^b
Arginina	2.40 ^a	4.12 ^b
Alanina	2.87 ^a	4.86 ^b
Tirosina♦	1.42^a	2.49^b
Metionina♦	1.98^a	3.00^b
Valina♦	3.23^a	4.37^b
Fenilalanina♦	3.60^a	3.92^b
Isoleucina♦	3.01^a	3.66^b
Leucina♦	5.14^a	6.26^b
Lisina♦	0.64^a	1.48^b
Triptófano♦	0.70^a	1.02^b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

♦Aminoácidos esenciales

Al comparar el perfil de aminoácidos del bagel elaborado con amaranto y el bagel de trigo se pudo observar que en todos los casos el contenido de aminoácidos del bagel de amaranto fue mayor al de trigo y la diferencia es estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) (tabla 21). El bagel de amaranto tiene mejor balance de aminoácidos esenciales en comparación al bagel de trigo, por ejemplo la lisina y triptófano que son aminoácidos limitantes en el trigo aumentaron el doble en el bagel de amaranto.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Por otra parte, al comparar el contenido de aminoácidos esenciales del bagel de amaranto con los recomendados por la FAO (tabla 22), se observó que, en todos los casos, el contenido de aminoácidos esenciales en el bagel con amaranto fue mayor o igual estadísticamente ($P \leq 0.05$) al patrón recomendado por la FAO como consumo diario (FAO/OMS/UNU, 1985), este patrón establece la cantidad que debe de consumirse diariamente de cada aminoácido para satisfacer los requerimientos de nitrógeno de un individuo y al mismo tiempo para la síntesis de proteínas tisulares (Mujica, 2001).

Tabla 22. Aminoácidos esenciales del bagel elaborado con la mejor formulación, comparándolo con requerimientos diarios recomendados por la FAO (g aminoácidos/ 100g proteína).

Aminoácidos Esenciales	Patrón de aminoácidos (FAO)	Bagel seleccionado (70:20:10)
Isoleucina	2.8 ^a	3.66 ^b
Leucina	6.6 ^a	6.26 ^a
Lisina	5.8 ^a	1.48 ^b
Metionina	2.5 ^a	3.00 ^b
Finilalanina + tirosina	6.3 ^a	6.42 ^a
Treonina	3.4 ^a	8.80 ^b
Triptófano	1.1 ^a	1.02 ^a
Valina	3.5 ^a	4.37 ^b

*Letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$)

Únicamente el contenido de lisina fue más bajo, esto probablemente se puede explicar señalando que, hubo un efecto de dilución por lo siguiente: la formulación de amaranto contiene gluten, el cual aumenta el contenido de proteína, pero el contenido de lisina en esta proteína es bajo, por lo tanto, como los resultados del contenido de aminoácidos se reportan por cantidad de proteína, sucede que la proteína aumento pero la lisina no, lo que provocó que este aminoácido estuviera en baja cantidad (Las proteínas, 2013). Pero se

puede concluir que el bagel con amaranto seleccionado es de mejor calidad nutricional que el bagel control.

3.7 EVALUACIÓN SENSORIAL (Nivel de agrado)

La prueba de nivel de agrado tiene como objetivo conocer, de acuerdo a un criterio sensorial, si la muestra escogida como la mejor: 70% H.A- 20% H.T-10% G, es aceptada o no por los consumidores, pues esta prueba mide el grado de satisfacción de los consumidores. La prueba se realizó a 99 jueces no entrenados a los cuales se les dio a probar el bagel (figura 22), posteriormente contestaron un cuestionario (Anexo 2) y se obtuvo como resultado que el 79% de ellos aceptó el producto y la calificación promedio obtenida fue de 7.2 (tabla 23); lo cual indica que el producto fue agradable para el consumidor.

Tabla 23. Resultados de la prueba sensorial de nivel de agrado aplicado al bagel elaborado con 70% H.A- 20% H.T-10% G.

Bagel de amaranto	# de jueces	Calificación	% de aceptación
70% H.A- 20% H.T-10% G	99	7.2	79



Figura 22. Prueba de nivel de agrado aplicada a jueces no entrenados

Como parte de la prueba se les pidió a los jueces que describieran el porqué de su decisión de aceptar este producto. En la figura 23 se muestran algunos de los descriptores que resaltaron los jueces y se observa que la mayoría dijo que el bagel sí sabía a amaranto, que tenía buen sabor y buena textura.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

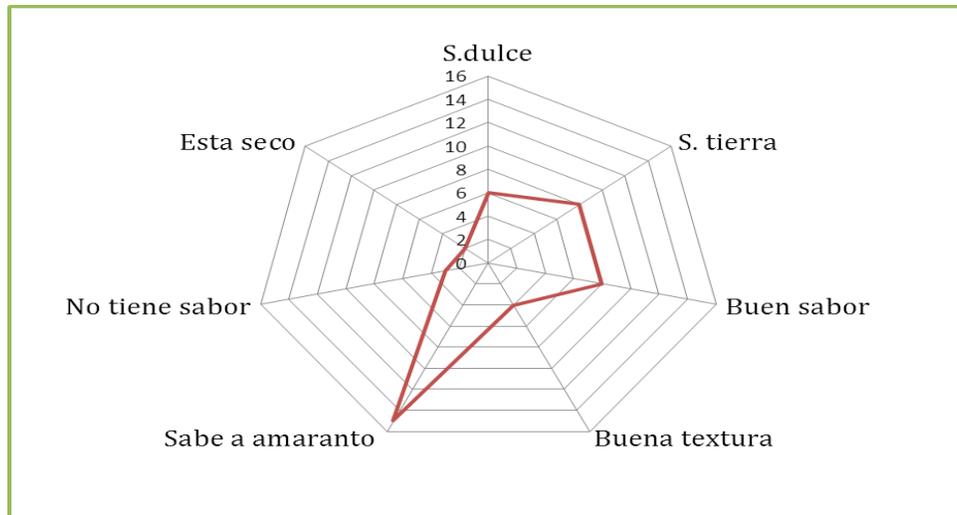


Figura 23. Descriptores indicados por los jueces no entrenados

Con estos resultados se puede concluir que el bagel: 70% Harina de amaranto 20% Harina de trigo y 10% Gluten, además de tener buena calidad panadera y mejor calidad nutricional que un bagel de trigo, sí fue aceptado por los consumidores, y que puede representar un nicho oportunidad para incrementar el consumo en México de este producto, porque además es versátil y novedoso.

CONCLUSIONES

- ❖ El amaranto utilizado como materia prima fue de mejor calidad nutrimental que la harina de trigo comercial seleccionada para la elaboración del Bagel y por lo tanto pudo usarse para complementarlo.
- ❖ Se logró sustituir la harina de trigo por harina de amaranto hasta en un 70% para la elaboración del Bagel, obteniéndose un producto con buenas características físicas y sensoriales, aunque es importante señalar que para lograr estas características se tuvo que usar gluten vital en la formulación.
- ❖ Se demostró que el bagel elaborado en el laboratorio (70% H.A-20% H.T-10% G) tuvo una mayor calidad nutrimental con respecto al control y al comercial ambos elaborados con trigo, ya que en su composición química tuvo mayor contenido de proteínas, lípidos, cenizas, fibra y bajo contenido de carbohidratos. Además el perfil de aminoácidos del bagel elaborado con amaranto mostró que su proteína contenía todos los aminoácidos esenciales en cantidades mayores al bagel elaborado con harina de trigo, ya que tuvo el doble de lisina y de triptófano, además de que estas cantidades fueron mayores a las recomendadas por la FAO para consumo diario. Esto quiere decir que se logró mejorar la calidad nutrimental del bagel de trigo agregándole amaranto.
- ❖ En la prueba sensorial de nivel de agrado el bagel tuvo una aceptación del 79% de los consumidores que lo probaron con una calificación de 7.2 en una escala de 10. Estos resultados nos indican que el consumo de este producto podría ser viable, y que podría ampliar el mercado con un producto novedoso y nutritivo, que represente un nicho de oportunidad para poderse comercializar e incrementar el consumo en México, además de representar una opción para contribuir a combatir la problemática de mala nutrición en nuestro país.

RECOMENDACIONES

- En el presente trabajo se demostró que el bagel elaborado con amaranto tuvo mayor contenido de proteína que el bagel comercial y uno elaborado de trigo y que este es de buena calidad, como lo mostro su perfil de aminoácidos; pero se recomienda confirmar que será asimilada por quien la consuma, determinando el Coeficiente de Eficiencia Proteica (PER).
- Por último, se recomienda realizar un estudio de factibilidad financiera del bagel para poder explorar la posibilidad de producirlo a nivel industrial o buscar a productores de amaranto para que ellos lo puedan desarrollar.

BIBLIOGRAFÍA

- Asociación Mexicana del Amaranto (2009). El amaranto: planta latinoamericana con fuerzas colosales. Informaciones Madeleine. México. pp. 1-4.
- A.O.A.C. (1995). Official Methods of Analysis of Association of Official Analytical Chemists. Cunniff, P., Published by AOAC International, Edition, USA.
- Arrizon-López.V; Slocum, R; Lee, P. (1987). Expanded protein hydrolyzate analysis, Sistem 6300/7300. Application Notes No. A630-AN-007., Palo Alto, California: Spinco Division of Beckman Instruments Inc.
- Badui, D. S. (1994). Química de los alimentos. Pearson Educación. 3ra ed. México. 126. pp.
- Barriga, X. (2003). Panadería artesana, tecnología y producción. Montagu Editores. Barcelona, España. 239. pp.
- Becerra Rosalba. (2000). El amaranto. Boletín Bimestral de la Comisión Nacional para el conocimiento de la Biodiversidad. 5(30): 1-6.
- Belitz, H. D y Grosch W. (1997). Química de los Alimentos. Acribia. Zaragoza, España.
- Berger, A; Gremaud, G; Baumgartner, M; Rein, D; Monnard, I; Kratky, E; Geiger, W; Burri, J; Dionisi, F; Allan, M. y Lambelet P. (2003). Cholesterol-lowering properties of amaranth grain and oil in hamsters. International Journal for Vitamin and Nutrition Research. 73(1): 39-47.
- Brenner, D. 1990. Seed shattering control with indehiscent utricles in grain amaranths. Legacy. 3(1): 2-3.
- Bressani, R. (1989). The proteins of grain Amaranth. Food Revs Int. 5:13-38.
- Bressani, R. (1990). Grain Amaranth. Its chemical composition and nutritive value. Minnesota extension service. University of Minnesota Agriculture: Amaranth Perspectives on production, processing and marketing. 1:19-34.
- Broughton, K.S; Johnson C.S. (1997). Reduce asthma symptoms with n-3 fatty acid ingestion are related to 5 series Leukotrienes production. Am. J. Clin. Nutr. 65:1011.
- Calaveras, J. (2004). Nuevo tratado de panificación y bollería. AMV Ediciones. Madrid, España. 2da ed. 622. pp.

- Casillas, G. F. (1986). Importancia de la semilla. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México. pp. 289-299.
- Contreras, E.L; Jaimez, J.O; Porras, G.M; Juárez, L.F.S; Añorve, J.M; Villanueva, S.R. (2010). Propiedades fisicoquímicas y sensoriales de harinas para preparar atole de amaranto. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 60 (2): 184-191.
- Cortés, A.Y.D. (2011). Desarrollo de un pan complementado con harina de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus L.*) con alta calidad nutrimental. Tesis de Ingeniería en Alimentos. FES Cuautitlán. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Charley, H. (2000). Tecnología de Alimentos, Procesos Químicos y Físicos en la preparación de alimentos. Limusa. México.
- Chávez, A; Madrigal H; y Ríos, E. (1993). Guías de alimentación. INNSZ.
- David, A.V. Dendy. (2001). Cereales y productos derivados. Química y Tecnología. Acribia, Zaragoza, España.
- Desrosier, N.W. (1989). Elementos de Tecnología de Alimentos. Continental. México.
- Dyner, L; Drago, S.R; Piñeiro, A; Sánchez, H; Gonzales, R; Villaamil, E; Valencia, M.D. (2007). Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 57 (1):69-77.
- FAO (2013). México el país con mayor sobrepeso. Consulta el 11 de Octubre del 2013. Disponible en:
<http://www.jornada.unam.mx/2013/06/05/sociedad/037n1soc>
- FAO/OMS/UNU. (1985). Necesidades de energía y proteínas. OMS., Ginebra. Serie Informes técnicos N° 724.
- Falder, R.A. (2002). Trigo, Harina y Pan. Enciclopedia de los Alimentos. España. pp. 125-133.
- Farfan, B; Gallegos, R; González, M. (1993). Manual de dietas normales y terapéuticas, UAM Xochimilco. 1:48-52.

- Fatsecret. (2013). Nutrición de Bagels. Consultada el 24 de Marzo del 2013.
Disponible en:
<http://www.fatsecret.com.mx/calor%C3%ADasnutrici%C3%B3n/gen%C3%A9rico/bagel>
- FENNEMA, O. R. (1985), “Introducción a la ciencia de los alimentos”, Reverté, España. pp 1258.
- García, B. V. (2010). Amaranto: Una alternativa de alimento para personas de edad avanzada, Tesis licenciatura, UNAM, México DF. 1:40-87.
- Hosney, C. (1991). Principios de la ciencia y tecnología de los cereales. Tr. González A. M. Acribia, Zaragoza, España.
- Hsu, H. W.; Vavak. D. L.; Satterlee, L. D.; Miller, G. A. (1977). A Multienzyme Technique for Estimating Protein Digestibility. J. Sci. Food, 42:1269.
- INEGI (2010). Fecha de consulta: 19 de agosto del 2013. Disponible en :
<http://cuentame.inegi.org.mx/economia/primarias/agri/default.aspx?tema=E>
- I.N.T.I. (2006). Panificados: Pan Francés. Cuadernillos para unidades de producción. 2: 1-28.
- Irving, D.W; Betschart, A.A. y Saunders R.M. (1981). Morphologic studies on *Amaranthus cruentus*. Journal Food Science. 46: 1170-1173.
- Kill, R.C. y Turnbullk. (2001). Tecnología de la Elaboración de Pastas y Semola. Acribia, Zaragoza, España.
- Kinsella J. E; Lokesh B. and Stone R. A. (1998). Dietary n-3 polyunsaturated fatty acids and amelioration of cardiovascular disease.Possible Mechanisms. Am. J. Clin. Nutr. 52.
- Lallemand. (1996). Bagels. Baking Uptable. 20(1): 1-2.
- Las Proteínas. (2013). Aminoácidos esenciales. Consulta el 18 de julio del 2013.
Disponible en : <http://proteinas.org.es/aminoacidos>
- Legaria, S.J.P. (2010). Diversidad genética en algunas especies de amaranto (*Amaranthus spp.*). Revista Fitotecnica Mexicana. 33(2): 89-95.
- Malca, Oscar G. (2001). Fideos imperial enriquecidos con kiwicha. Seminario Agro Negocios. Universidad del pacifico. Facultad de administración y contabilidad.

- Mesas, J.M; Alegre, M.T. (2002). El pan y su proceso de elaboración. Ciencia y Tecnología Alimentaria. 5(3): 307-313.
- Morales, G; Vázquez, M.N y Bressani, C.R. (2009). El Amaranto. Ed. INCMN. México.
- Mujica, A.S; Berti M.D; Izquierdo J. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. Escuela de Post-grado. Maestría Agricultura Andina, Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.
- Mujica, A; Jacobsen, S.E; Izquierd, J; Marathee, J.P. (2001). Cultivos andinos: alimentos del presente y el futuro. FAO. Santiago, Chile.
- Nieto, C. (1990). El cultivo de amaranto (*Amaranthus spp*) una alternativa agronómica para Ecuador. INIAP, EE. Santa Catalina. Publicación Miscelánea N°52. Quito, Ecuador.
- NMX-007-1982. Alimento para humanos. Harina de trigo. Foods for humans. Wheat flour. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-036-1996. Productos alimenticios no industrializados. Cereales. Trigo. (*Triticum aestivum L.* y *Triticum durum Desf.*). Especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-F-521-1992. Alimentos y productos de Panificación.
- Paredes, L.O. (1999). Amaranth biology, chemistry and technology. Ed. CRC Press. 2da ed. USA.
- Paredes, L.O. (2001). De ofrenda de los Dioses a cultivo olvidado, Alimentos mesoamericanos: el amaranto. Fecha de consulta: 18 de abril del 2013. Disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2001/oct01/011022/cien-paredes.html>.
- Pedrero, F.D.L. y Pangbord, R.M. (1989). Evaluación sensorial de los alimentos. Métodos Analíticos. Alambra Mexicana, 1ra ed.
- Pomeranz, Y. (1978). Weath: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists. Minesota. USA. Vol. V.
- Primo, Y. (1987). Química Agrícola III. Alimentos. Alhambra. Madrid, España.
- Rivera, L. E.; Romero, B. J. (1996). Estudio de la calidad del trigo, su harina. Evaluación de tres variedades de trigo (*Triticum aestivum*): Tesis Licenciatura,

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Ingeniería en Alimentos, UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, México.

- Rodas, B; Bressani, R. (2009). Contenido de aceite, ácidos grasos y escualeno en variedades crudas y procesadas de grano de amaranto. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 59(1): 82-87.
- SAGARPA (2012). Situación actual del trigo. Fecha de consulta 28 de Octubre 2012. Disponible en:
<http://www.oedrus-bc.gob.mx/sispro/trigobc/Descargas/ElCultivoTrigo.pdf>
- SAGARPA. (2012). Situación actual del amaranto. Fecha de consulta: 17 de Noviembre 2012. Disponible en:
<http://www.aserca.gob.mx/sicsa/fichas/Produccion/Amaranto201008.pdf>
- Sánchez, M.A. (1980). Potencialidad Agroindustrial del amaranto. Ed. Centro de Estudios Económicos de Tercer Mundo. México, D.F.
- San Miguel. (2006). Amaranto, nuestro alimento del futuro. Fecha de consulta: 26 de Enero del 2013. Disponible en :
http://www.sanmiguel.com.mx/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=24&Itemid=49
- Santin, H.C. y Lazcano S.M. (1986). Pasado, presente y futuro del amaranto. FAO. Cuadernos de nutrición. 9 (1): 17-32.
- Serna, S. O. (2001). Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. Ed. A.G.T. México D.F. 521. pp.
- Serna S.S.R.O. 2003. Manufactura y control de calidad de productos basados en cereales. AGT Editor, México.
- Smith A.M. (2001). The biosynthesis of starch granules. Biomacromoleculas. 2:335-341.
- Solo panes. (2013). Elaboración de Bagel. Fecha de consulta: 24 de Marzo del 2013. Disponible en:
<http://www.solopanes.com/verarticulo.php?id=25www.solopanes.com>
- Suárez, L. M. M; Kizlansky, A; López, L.B (2006). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. Nutrición hospitalaria. 21(1): 47-51.

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

- Teutónico, R. y Knorr, D. (1985), Amaranth composition, properties and applications of a rediscovered Food Crop. FoodTechnology. Institute of Food Technology. 39 (4): 49-61.
- Vázquez-Ortiz, F.A.; Caire, G.; Higuera-Ciapara, I. and Hernández, G. (1995). High Performance Liquid Chromatographic Determination of Free Amino Acids in Shrimp. J. Liquid Chrom. 18(19):2059-2068.
- Vaglia, G. (1991). Ciencia y Tecnología de la Panificación. Acribia, Zaragoza España.

ANEXO 1

PRUEBA DE PREFERENCIA

Edad: _____ **Sexo:** H M **Fecha:** _____

INSTRUCCIONES: pruebe las muestras y ordene según su preferencia, otorgándole un valor del 1 al 4, considerando que 1 es la que menos le gusta y 4 es la que más le gusta. No se permiten empates. En el espacio de abajo, explique brevemente ¿Por qué tomo esa decisión?

MUESTRAS 735 736 737 738
VALOR _____ _____ _____ _____

¿Por qué?

Codificación de las muestras

Bagel	CLAVE
H.Amaranto:H.Trigo [40:60]	735
H.Amaranto:H.Trigo [50:50]	736
H.Amaranto:H.Trigo:Gluten [60:30:10]	737
H.Amaranto:H.Trigo:Gluten [70:20:10]	738

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Resultados Prueba de preferencia

Juez (n)	735	736	737	738
1	1	2	4	3
2	3	1	4	2
3	1	2	3	4
4	1	3	2	4
5	1	2	4	3
6	4	1	2	3
7	1	3	2	4
8	4	2	1	3
9	4	2	3	1
10	1	2	3	4
11	2	3	1	4
12	1	4	3	2
13	3	2	4	1
14	1	4	3	2
15	3	2	4	1
16	2	3	4	1
17	4	3	1	2
18	4	2	1	3
19	4	2	1	3
20	1	2	4	3
21	1	3	4	2
22	3	1	2	4
23	2	3	1	4
24	1	3	4	2
25	1	3	4	2
26	1	4	3	2
27	4	3	2	1
28	4	2	1	3
29	3	2	4	1
30	1	2	3	4
31	1	4	3	2
32	4	3	1	2
33	2	1	3	4
34	1	2	3	4
35	3	2	1	4

36	3	4	2	1
37	3	1	2	4
38	1	3	2	4
39	4	1	2	3
40	1	3	2	4
41	1	3	4	2
42	4	1	3	2
43	3	4	1	2
44	4	1	3	2
45	3	4	2	1
46	4	3	1	2
47	1	2	3	4
48	1	2	3	4
49	2	1	4	3
50	3	4	2	1
51	1	4	2	7
52	1	2	3	4
53	4	1	2	3
54	4	2	3	1
55	1	4	2	3
56	1	4	3	2
57	2	4	3	1
58	4	3	2	1
59	1	4	3	2
60	1	2	4	3
61	4	3	2	1
62	1	3	2	4
63	1	2	3	4
64	1	2	4	3
65	1	2	3	4
66	1	2	3	4
67	1	3	2	4
68	1	3	2	4
69	4	3	1	2
70	1	2	3	4
71	2	1	3	4
72	2	4	1	3

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

73	2	1	4	3
74	2	4	3	1
75	2	1	4	3
76	2	3	4	1
77	3	4	2	1
78	3	2	4	1
79	4	2	1	2
80	1	2	3	4
81	3	4	1	2
82	3	2	1	4
83	3	4	2	1
84	3	1	2	4
85	1	2	3	4
86	1	2	4	3
87	3	4	1	2
88	1	4	3	2
89	1	3	2	4
90	3	2	4	1
91	1	3	2	4
92	1	2	4	3
93	3	4	2	1
94	4	3	2	1
95	3	2	1	4
Puntuación	209	243	244	257

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

ANEXO 2

Prueba de nivel de agrado del bagel con: 70 H.A- 20 H.T- 10 G

EDAD: _____ **SEXO:** M F **FECHA:** _____

INSTRUCCIONES: Pruebe el bagel y sobre la línea indique con una **X** su nivel de agrado. En el espacio de abajo, explique brevemente ¿Por qué tomó esa decisión?

ESCALA

DISGUSTA

ES

GUSTA

MUCHO

INDIFERENTE

MUCHO

¿POR QUÉ?

¡GRACIAS!

BAGEL DE TRIGO Y AMARANTO

Resultado prueba de nivel de agrado

Juez (n)	Calificación	Juez (n)	Calificación	Juez (n)	Calificación
1	10	34	8.2	67	6.5
2	10	35	8.2	68	6.5
3	10	36	8.1	69	6.5
4	10	37	8.1	70	6.4
5	10	38	8.1	71	6.4
6	10	39	8.1	72	6.3
7	10	40	8	73	6.1
8	10	41	8	74	6.1
9	10	42	8	75	6.1
10	10	43	8	76	6
11	10	44	8	77	6
12	9.5	45	8	78	6
13	9	46	8	79	5.8
14	8.9	47	8	80	5.8
15	8.9	48	7.8	81	5.8
16	8.8	49	7.8	82	5.8
17	8.8	50	7.8	83	5
18	8.8	51	7.8	84	5
19	8.7	52	7.6	85	5
20	8.5	53	7.5	86	5
21	8.5	54	7.3	87	5
22	8.5	55	7.3	88	5
23	8.5	56	7.3	89	4.8
24	8.5	57	7.2	90	4.5
25	8.3	58	7.2	91	4.5
26	8.3	59	7.2	92	4.2
27	8.3	60	7.2	93	3.8
28	8.3	61	7.1	94	3.5
29	8.3	62	7.1	95	2.2
30	8.3	63	7	96	2.2
31	8.2	64	6.8	97	2.2
32	8.2	65	6.8	98	1.8
33	8.2	66	6.5	99	0

PROMEDIO: 7.2

PORCENTAJE DE ACEPTACIÓN: 79%